



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

## ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

## STUDIUM MOŽNOSTÍ ZLEPŠENÍ MRAZUVZDORNOSTI BETONŮ

STUDYING THE POSSIBILITY OF IMPROVING THE FROST RESISTANCE OF CONCRETE

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

**Bc. Pavel Šafrata**

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. RUDOLF HELA, CSc.

BRNO 2017



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

STUDIJNÍ PROGRAM	N3607 Stavební inženýrství
TYP STUDIJNÍHO PROGRAMU	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
STUDIJNÍ OBOR	3607T020 Stavebně materiálové inženýrství
PRACOVISTĚ	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

DIPLOMANT	Bc. Pavel Šafrata
NÁZEV	Studium možností zlepšení mrazuvzdornosti betonů
VEDOUCÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE	prof. Ing. Rudolf Hela, CSc.
DATUM ZADÁNÍ	31. 3. 2016
DATUM ODEVZDÁNÍ	13. 1. 2017

V Brně dne 31. 3. 2016

.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Vedoucí ústavu

.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Děkan Fakulty stavební VUT

## PODKLADY A LITERATURA

Odborné zahraniční i tuzemské časopisy, sborníky z odborných sympozií a konferencí, internetové zdroje odborných publikací z daného oboru.

Diplomové práce vypracované na ÚTHD FAST Brno v období 2012 – 2015

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ (ZADÁNÍ, CÍLE PRÁCE, POŽADOVANÉ VÝSTUPY)

Trvanlivost betonů vystavených působení cyklickému zmrazování za přítomnosti vody a chemických rozmrazovacích látek je velmi proměnná pro různé typy betonů. Je ovlivněna nejenom pevnostními třídami a vstupními surovinami, ale zejména způsobem provzdušnění. V teorii jsou popsány různé hodnoty velikosti provzdušnění, včetně součinitele prostorového rozložení vzduchových pórů, které mají zajistit požadovanou trvanlivost betonů hlavně v prostředí XF4. V praxi ovšem dosažené výsledky těmto poznatkům často odporují a betony, které jsou teoreticky správně provzdušněny se v praxi rozpadají. V teoretické části práce shrňte současné poznatky z této problematiky např. vlivy typů cementů, kameniv, obsahu jemných podílů, typu příměsí a hlavně míry provzdušnění, obsahu mikroskopického vzduchu, součinitele prostorového rozložení pórů na trvanlivost v prostředí XF. Porovnejte různé ve světě používané zkušební metody a jejich výsledky, včetně závislosti povrchové nasákavosti. Popište možné přístupy, kterými lze trvanlivost výrazně zlepšit.

V praktické části navrhnete receptury betonů s portlandskými cementy, plastifikačními a provzdušňovacími přísadami, případně s různými typy aktivních příměsí. Tyto provzdušněte na různé úrovně, porovnejte hodnoty obsahu v čerstvém a zatvrdlém betonu. Laboratorně připravte vzorky pro stanovení pevnosti v tlaku, mrazuvzdornosti a odolnosti proti CHRL ve stáří 28 a 90 dnů. Současně v této době stanovte hodnoty spacing-faktoru. Ověřte možnosti využití nasákavosti povrchů či vodotěsnosti pro prognózování trvanlivosti betonů v prostředí XF.

Proveďte technické a ekonomické vyhodnocení dosažených výsledků, doporučte metodiku navrhování těchto betonů.

Rozsah práce minimálně 70 stran.

## STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ/DIPLOMOVÉ PRÁCE

**VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:**

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

.....  
prof. Ing. Rudolf Hela, CSc.

Vedoucí diplomové práce

## ABSTRAKT

Předmětem této práce je shrnutí teoretických i praktických poznatků v oblasti mrazuvzdornosti betonu. Z nich plyne, že na odolnost proti cyklickému působení mrazu má vliv celá řada činitelů. Jedná se o vstupní suroviny, technologii výroby, dobu a způsob ošetřování. Vliv příměsí, provzdušnění a velikosti provzdušnění je zpracován a vyhodnocen experimentálně. Pro hodnocení trvanlivosti je podstatný způsob zkoušení, proto je obsahem práce řešerše používaných metod a také praktické porovnání některých z nich. Práce je přínosná z důvodu zavedení požadavku na mrazuvzdornost betonu v prostředí XF1 a XF3 v normě ČSN EN 206 (2014).

## KLÍČOVÁ SLOVA

beton, mrazuvzdornost, trvanlivost, porušení mrazem, provzdušnění, příměsi, parametry vzduchových pórů

## ABSTRACT

The purpose of this study is to summarize theoretical and practical knowledge of frost resistance of concrete. It suggests, that there are numerous factors affecting the freeze-thaw resistance of concrete. These are especially raw materials, production technology, time and method of curing. The influence of addition, air entrainment and air void structure is complied and evaluated experimentally. The testing method is crucial for the evaluation of durability of concrete. Hence, this thesis includes a research of methods used around the world and practical comparison of some of them. This thesis is valuable because of implementation of the requirement in the standard ČSN EN 206 (2014) for the frost resistance of concrete in exposure classes XF1 and XF3.

## KEYWORDS

concrete, frost resistance, durability, frost damage, air entrainment, addition, air-voids parameter

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP**

Bc. Pavel Šafrata *Studium možností zlepšení mrazuvzdornosti betonů*. Brno, 2016. 98 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce prof. Ing. Rudolf Hela, CSc.

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 11. 1. 2017

---

Bc. Pavel Šafrata  
autor práce

## **PODĚKOVÁNÍ**

Za vedení práce rady a věnovaný čas bych chtěl poděkovat prof. Ing. Rudolfu Helovi, Csc. a ostatním členům Ústavu technologie stavebních hmot a dílců za pomoc při zpracování této práce. Chtěl bych dále poděkovat i všem, kteří se přímo i nepřímo podíleli na tvorbě této práce, především pak své rodině

# OBSAH

<b>1. ÚVOD</b>	<b>10</b>
<b>2. CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE</b>	<b>11</b>
<b>3. TEORETICKÁ ČÁST</b>	<b>12</b>
3.1. VÝVOJ SLEDOVÁNÍ MRAZUVZDORNOSTI	12
3.2. MRAZUVZDORNOST BETONU	13
3.2.1 MECHANISMY PŮSOBENÍ MRAZU	13
3.2.2 ÚČINKY MRAZU V PRŮBĚHU TUHNUTÍ A TVRDNUTÍ	16
3.3 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ MRAZUVZDORNOST BETONU	17
3.3.1 KAMENIVO	17
3.3.2 CEMENT	18
3.3.3 VODNÍ SOUČINITEL	20
3.3.4 PŘÍSADY	21
3.3.5 PŘÍMĚSI	23
3.4 METODY ZKOUŠENÍ MRAZUVZDORNOSTI	24
3.4.1 STANOVENÍ MRAZUVZDORNOSTI BETONU	25
3.4.2 ZRYCHLENÉ ZKOUŠKY MRAZUVZDORNOSTI	26
3.4.3 ZKOUŠENÍ ODOLNOSTI BETONU PROTI ZMRAZOVÁNÍ A ROZMRAZOVÁNÍ	27
3.4.4 ODOLNOST PROTI ZMRAZOVÁNÍ A ROZMRAZOVÁNÍ - ODLUPOVÁNÍ	28
3.4.5 STANOVENÍ ODOLNOSTI POVRCHU BETONU PROTI PŮSOBENÍ VODY A CHRL	30
3.4.6 OBSAH VZDUCHU – TLAKOVÉ METODY	33
3.4.7 AIR-VOID ANALYSER	34
3.4.8 STANOVENÍ CHARAKTERISTIK VZDUCHOVÝCH PÓRŮ VE ZTVRDLÉM BETONU	35
3.4.9 PROTECTED PASTE VOLUME	37
3.5 PŘEHLED ZKUŠEBNÍCH METOD POUŽÍVANÝCH V ZAHRANIČÍ	39
3.5.1 EVROPA	40
3.5.2 SEVERNÍ AMERIKA	43
<b>4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST</b>	<b>46</b>
4.1 POUŽITÉ SUROVINY	47
4.1.1 KAMENIVO	47
4.1.2 CEMENT	47
4.1.3 PŘÍSADY	47
4.1.4 PŘÍMĚSI	48
4.2 NÁVRH RECEPTUR	48
4.3 VÝROBA BETONU A ZKUŠEBNÍCH TĚLES	49
4.4 PROVÁDĚNÉ ZKOUŠKY A NAMĚŘENÉ HODNOTY	50
4.5 VYHODNOCENÍ PARAMETRŮ ZTVRDLÉHO BETONU	54
4.5.1 PEVNOST V TLAKU	54



4.5.2	ODOLNOST PROTI PŮSOBENÍ MRAZU A CHRL	55
4.5.3	MRAZUVZDORNOST BETONU	58
4.5.4	SPACING FACTOR	62
4.5.5	POROVNÁNÍ VODOTĚSNOSTI A NASÁKAVOSTI VE VZTAHU S MRAZUVZDORNOSTÍ A ODOLNOSTÍ PROTI CHRL	66
4.6	EKONOMICKÉ POROVNÁNÍ RECEPTUR	68
4.7	DISKUZE VÝSLEDKŮ	70
<b>5</b>	<b><u>ZÁVĚR</u></b>	<b>71</b>
<b>6</b>	<b><u>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ</u></b>	<b>73</b>
<b>7</b>	<b><u>SEZNAM OBRÁZKŮ</u></b>	<b>80</b>
<b>8</b>	<b><u>SEZNAM TABULEK</u></b>	<b>82</b>
<b>9</b>	<b><u>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK</u></b>	<b>83</b>
<b>10</b>	<b><u>SEZNAM PŘÍLOH</u></b>	<b>84</b>

# 1. Úvod

Při navrhování betonových konstrukcí býval obvykle kladen největší důraz na mechanické vlastnosti, zejména na pevnost, díky které beton odolává danému zatížení. S příchodem normy ČSN EN 206 (1) a ČSN P 73 2404 (2) se ke specifikaci betonu začalo přistupovat s větším důrazem na trvanlivost, konkrétně pak na prostředí, kterému bude beton vystaven v průběhu své životnosti.

Pojem trvanlivost betonu je dosti obecný termín, který je chápán jako odolnost betonu vůči působení fyzikálních a chemických vlivů v čase. Jednotlivé vlivy a jejich mechanismy se od sebe mohou zcela zásadně lišit, tudíž je výraz „trvanlivost“ značně nekonkrétní. Nelze ji vyjádřit ve fyzikálních jednotkách, jako je tomu například u pevnosti. Proto byla snaha specifikovat konkrétní agresivní vlivy, což realizovala již zmíněná norma ČSN EN 206-1 (3). Vzhledem k relativně krátkému užívání těchto stupňů vlivu prostředí je zatím obtížné dělat závěry o dlouhodobých trvanlivostech.

Jeden z obvyklých agresivních vlivů, který se v našich zeměpisných šířkách často vyskytuje, a je označován jako XF, je působení mrazu a rozmrazování za přítomnosti vody, případně vody s rozmrazovacími prostředky. Typické konstrukce, vystavené tomuto prostředí jsou stavby dopravní a vodohospodářské. Stanovení odolnosti betonu proti chemickým rozmrazovacím látkám (2) je u nás běžně prováděnou zkouškou, na rozdíl od stanovení samotné mrazuvzdornosti (3), která se řadu let u nás obvykle nevyžadovala. Předpokládalo se, že beton splňující požadavky na odolnost proti chemickým rozmrazovacím látkám splňuje automaticky i kritéria pro mrazuvzdornost. Realita však bývá odlišná.

## 2. CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Práce si klade za cíl vysvětlit mechanismy, ke kterým dochází při vystavení betonu mrazu, případně chemickým rozmrazovacím látkám. Dále je záměrem interpretovat vlivy, které s sebou přináší jednotlivé suroviny pro výrobu betonu a zdůraznit právě ty, které jsou pro výrobu mrazuvzdorného betonu vhodné. Podstatným hlediskem při posuzování mrazuvzdornosti betonu je i zvolená zkušební metoda. Proto jsou zde popsány postupy používané u nás jak v současné době, tak v minulosti, stejně jako ty nejvýznamnější používané v ostatních zemích světa s náznaky jejich vývoje do budoucna.

Práce je zaměřena na porovnání různých přístupů při návrhu betonu pro stupeň vlivu prostředí XF3 ze surovin dostupných na severní Moravě. Cílem je vybrat nejvhodnější recepturu pro konstrukční beton třídy C 30/37 XF3 jak z hlediska mechanických parametrů, tak i po ekonomické stránce. Tento experiment má za úkol také porovnat výsledky zkušebních metod pro stanovení mrazuvzdornosti (3) a pro stanovení odolnosti povrchu proti působení CHRL (4) a posoudit, zda je možné tyto parametry předpovídat podle nasákavosti či hloubky průsaku tlakovou vodou.

## 3. TEORETICKÁ ČÁST

### 3.1. VÝVOJ SLEDOVÁNÍ MRAZUVZDORNOSTI

Sledování působení mrazu na beton není v žádném případě něčím novým. Vývoj betonů odolávajících mrazovým cyklům probíhal u nás už v 50. letech minulého století. V roce 1950 sepsal Stanislav Bechyně publikaci, popisující mimo jiné možnosti zvýšení mrazuvzdornosti betonu použitím provzdušňovacích přísad nebo provzdušňujících cementů. (4) Množství vázaného vzduchu v betonu se pohybovalo v intervalu 2-6 % a velikost těchto pórů činila 60-200  $\mu\text{m}$ . Na tuto velikost byl už tehdy kladen velký důraz, stejně jako na rovnoměrném rozptýlení pórů v betonu.

Další nutnou podmínkou pro výrobu mrazuvzdorného betonu bylo použití mrazuvzdorného kameniva. (5) Bechyně tvrdí, že stěžejním parametrem pro trvanlivost betonu je jeho vodotěsnost. Vliv nasákavosti a následných objemových změn nasáklé vody zmiňuje i Šlachta. (6) Posuzování mrazuvzdornosti probíhalo dle povrchově viditelných a vnitřních následků. Posouzení podle hmotnosti nevypovídalo o stavu porušení, jelikož neodhalují vnitřní, mnohem rizikovější skutečnosti. Ty se projevují ztrátou vodotěsnosti, modulu pružnosti a pevnosti v tahu za ohybu.

Nejvhodnějším v té době známým způsobem pro odhalení porušení betonu mrazem bylo měření změny modulu pružnosti, a to pomocí frekvence vlastního kmitání nebo měřením rychlosti šíření zvuku. Jako mrazuvzdorné se považovaly betony, u kterých po daném počtu cyklů nedošlo k poklesu modulu pružnosti o více než 15 %. Další metody byly na principu změn nasákavosti a propustnosti. Posuzování odolnosti betonu na základě měření poklesu tlakové pevnosti se považovalo za neprůkazné. (5) Šlachta naopak zastával teorii posuzování mrazuvzdornosti právě podle pevnosti v tlaku. U odolných betonů z portlandského cementu byl pokles pevnosti v tlaku po 100 cyklech limitován také 15 %. (6) Tato myšlenka se však neprosadila. Bylo taky zjištěno, že betony s vodním součinitelem nižším, než 0,4 měly pórovitost podobnou provzdušněným betonům a tedy odolávají mrazu. Také se využívalo hydrofobních cementů. (7)

Znatelný pokrok přinesla 70. léta, zavedením hodnocení mrazuvzdornosti počtem zmrazovacích a rozmrazovacích cyklů, označovaným písmenem T spolu s číslem udávajícím množství cyklů (např. T 100). Takto označené betony musely dosáhnout minimálního součinitele mrazuvzdornosti 0,75, který byl získán z poměru tahu za ohybu před a po cyklování, a zároveň nepřekročit hmotnostní úbytek 5 %. Jako orientační a nesrovnatelně rychlejší nepřímá metoda se pro stanovení mrazuvzdornosti využívalo měření nasákavosti betonu během 24 hodin. Jako vhodná úroveň provzdušnění se uvažovalo 4-6 % vzduchu, 8 % byla maximální přípustná hodnota. Vodní součinitel měl být nižší než 0,6, lépe však 0,56.

Další podstatnou novinkou bylo uvažování vlivu chemických rozmrazovacích látek při cyklování, na základě čehož vznikla norma pro stanovení odolnosti povrchu proti těmto látkám. Jeden cyklus se skládal z 16 hodin zmrazování a 1,5 hodiny rozmrazování, počet cyklů začínal na 50. Vyhodnocení probíhalo slovním hodnocením stavu povrchu zkušebního tělesa. (2)

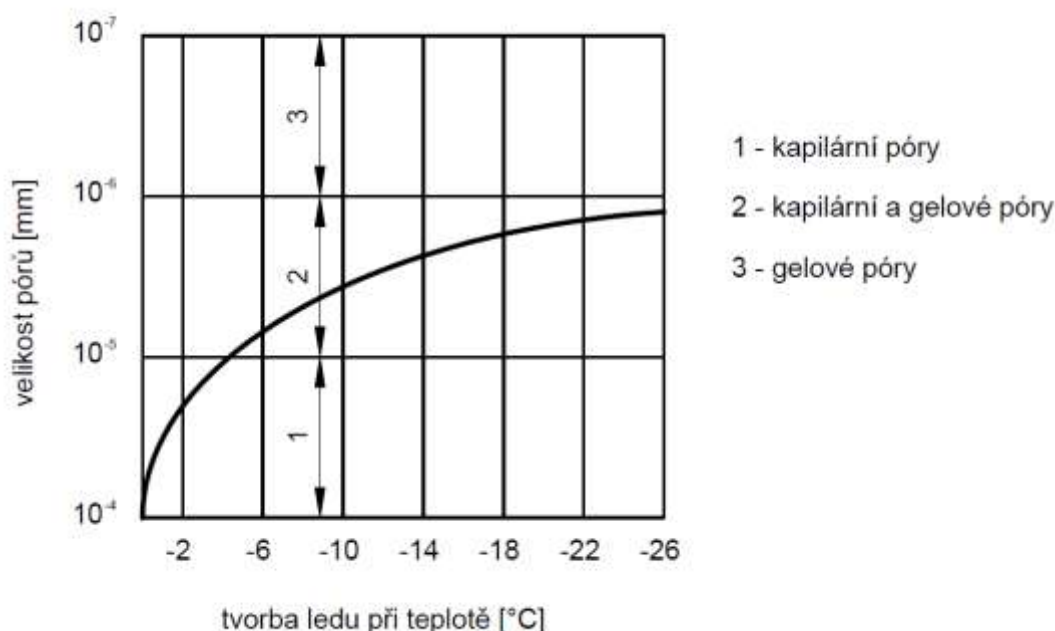
## **3.2. MRAZUVZDORNOST BETONU**

Tímto pojmem rozumíme schopnost betonu odolávat cyklickému působení mrazu a tání za přítomnosti vody, která je jedním z nejdůležitějších předpokladů pro trvanlivost betonu vystaveného povětrnostním vlivům. Principem zatížení betonu těmito cykly jsou základní fyzikální mechanismy, ke kterým dochází při změnách teplot a při přechodu vody z kapalného do pevného skupenství.

### **3.2.1 MECHANISMY PŮSOBENÍ MRAZU**

Při uvažování nad principy narušování betonu mrazem vzniklo několik hypotéz. Jedno z prvních vysvětlení přišlo s myšlenkou, že část vody, která přejde do pevného skupenství a tím zvětší svůj objem, před sebou tlačí zbytek kapaliny, a tento hydraulický tlak způsobuje porušení struktury betonu. Později se uvažovalo, že je tento tlak způsoben rozdílnou koncentrací roztoků, zbývajících v kapalném skupenství. Při zmrazování vody dochází k nárůstu koncentrace látek ve zbývající kapalině. To vede ke vzniku nerovnovážných podmínek v zatěžovaném betonu a tím ke vzniku osmotických tlaků, které při snaze vyrovnat koncentrace roztoků vedou k porušení mikrostruktury. (8)

Chování vody obsažené v betonu je tedy stěžejní pro pochopení mrazuvzdornosti betonu. Víme, že chemicky vázaná voda se v led nikdy nepřemění. Gelová voda se přeměnit v led může, ale dochází k tomu až při velmi nízkých teplotách. Při teplotě  $-73\text{ }^{\circ}\text{C}$  zamrzne zcela. Voda v kapilárách oproti tomu mrzne mnohem dříve. K přechodu do pevného skupenství dochází od teploty asi  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  z důvodu přítomnosti látek rozpuštěných v roztoku a jeho rychlost závisí na velikosti kapilár. Při snižování teploty vzniká nejdříve na povrchu betonu ledová tříšť, která s postupným ochlazováním betonu prostupuje hlouběji. Vzniklý led má oproti kapalnému stavu větší objem o přibližně 9 %. To vede k působení krystalického tlaku, dosahujícího až 200 MPa, který působí směrem do středu betonu. (9)



OBR. 1. VZTAH MEZI VELIKOSTÍ PÓRŮ A TEPLOTOU TVORBY LEDU (9)

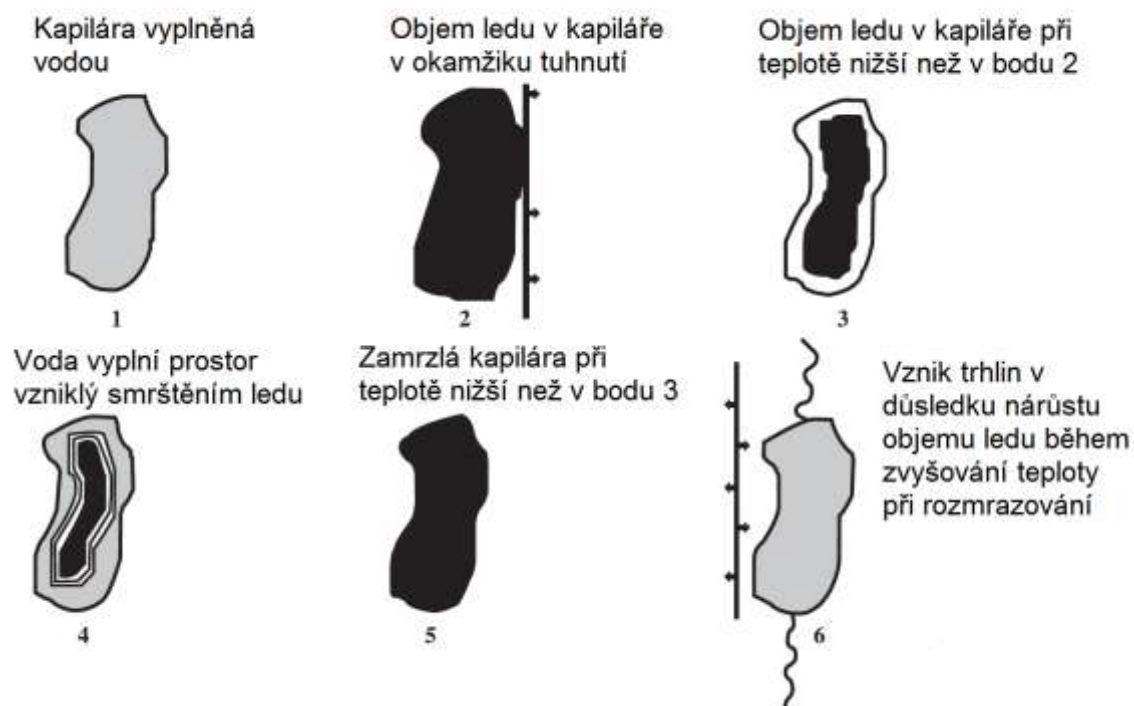
Přechod mezi skupenstvími vody však není jediná objemová změna zatěžující strukturu betonu. U ledu totiž sledujeme, jako ostatně u všech ostatních látek, teplotní roztlačnost. Pro beton je hodnota této veličiny  $10 \cdot 10^{-6}\text{ K}^{-1}$  kdežto led dosahuje  $51 \cdot 10^{-6}\text{ K}^{-1}$ . (10) Při poklesu teploty tedy dochází ke zvyšování hustoty a tedy ke snižování objemu ledu. Tuto skutečnost nelze opominout při sledování chování betonu během zmrazování a zejména při rozmrazování. Také si je třeba uvědomit, že led je z chemického hlediska tvořen pouze vodou, kdežto kapalná voda v sobě obsahuje rozpuštěné látky. Z toho plyne řada velice podstatných

informací. Při tvorbě ledu dochází ke zvyšování koncentrace kapalného roztoku, což ovlivňuje jeho teplotu tuhnutí.

Popišme si význam těchto poznatků. V počáteční fázi před zmrazováním je beton nasáklý vodou, otevřené kapiláry jsou tedy zcela zaplněny. Během ochlazování dochází v kapilárním póru při určité teplotě, v závislosti na velikosti póru a množství látek rozpuštěných ve vodě, k tvorbě ledu. Led vzniká postupně, přičemž zvětšuje svůj objem a stlačuje zbývající kapalnou fázi. Pokud je rychlost chlazení vysoká a propustnost cementového tmelu okolo póru nízká, není kapalina schopna uniknout z póru a snížit tak hydraulický tlak. Ten poté vyvoluje napětí, které vede ke vzniku trhlin. Tomuto poškození je možné předcházet správným provzdušněním betonu, které zajistí dostatečnou permeabilitu cementového tmele, díky čemuž kapalina nedosáhne tak vysokého tlaku.

Během snižování teploty se beton ochlazuje od povrchu směrem do středu. Izoterm, na kterých dochází k zamrzávání vody, se tedy v čase posouvají stejným směrem, zatímco dosud nezamrzlá voda, nacházející se hlouběji v betonu, má snahu vyrovnávat teplotu soustavy, a tak vykonává pohyb proti nim. Tento jev se označuje jako termoosmóza. K podobnému osmotickému jevu dochází při růstu koncentrace zbývající kapaliny v místě tvorby ledových krystalků. Méně koncentrovaný roztok v blízkém okolí má snahu koncentrovanější roztok ředit a tím vytvořit rovnovážný stav. Obě tyto osmózy způsobují migraci kapaliny proti směru postupného postupu izoterm při ochlazování. S poklesem teploty dochází díky teplotní roztažnosti ke smršťování vytvořeného ledu v kapilárních pórech. Vzniklý prostor je zaplněn migrující kapalinou, která poté mrzne a postupně tak zcela vyplní kapilární póry i při minimální teplotě daného cyklu.

Při následném nárůstu teploty dochází nejprve ke zvětšení objemu ledu v důsledku teplotní roztažnosti a ten tak vyvoluje další napětí na cementový tmel v okolí zamrzlých pórů. Celý průběh těchto dějů je znázorněn na obr. 2. Toto působení teplotní roztažnosti se nemusí zdát tak významné, jelikož při ochlazení z 0 °C na -20 °C se led smrští o pouhých 0,31 %. Podstatným se tento vliv stává při častém střídání teplot, kdy dochází k mnohonásobnému opakování průběhu těchto procesů a narušení se každým cyklem prohlubuje. (8)



OBR. 2. CHOVÁNÍ VODY A LEDU V KAPILÁRNÍM PÓRU V PRŮBĚHU ZMRAZOVACÍHO CYKLU (8)

### 3.2.2 ÚČINKY MRAZU V PRŮBĚHU TUHNUTÍ A TVRDNUTÍ

Popsané mechanismy působení mrazu jsou uvažovány v období, kdy již beton dosáhl konečných pevností. V případě, že je beton vystaven mrazu dříve, účinky mrazu závisí na době od zamíchání záměsi. V časovém úseku od zamíchání do počátku tuhnutí betonu ještě netvoří hydratační produkty pevné vazby, a tak je beton schopen reagovat na objemové změny v důsledku mrznutí vody. Zvětší se však pórovitost asi o 10 % (9). Po rozmrznutí betonu pokračuje hydratace, aniž by došlo k narušení konstrukce.

Kritické období pro správný průběh hydratace betonu je od počátku tuhnutí po dobu, kdy beton získá pevnost v tlaku 5 až 8 N·mm<sup>-2</sup>. Pokud beton v tomto období zmrzne, dojde k výraznému narušení jeho struktury, poklesu výsledných pevností a tudíž ke znehodnocení celé konstrukce. Po dosažení těchto pevností beton získává stále vyšší mrazuvzdornost, která koreluje s rostoucí pevností. (9)

Vlivem mrazu v raných fázích tuhnutí a tvrdnutí betonu se zabýval projekt (11), který byl realizován v Koreji. Na beton působili mrazem po dobu 6 nebo 12 hodin, a to hned po výrobě a dále po 6, 12, 24 a 72 hodinách. V daných časech je chování betonu závislé na rychlosti hydratace, době tuhnutí a tvrdnutí a tedy



zejména na použitém cementu a přísadách. Účinky mrazu jsou větší s rostoucím vodním součinitelem. Právě volná voda v čerstvém betonu určuje míru poškození, proto škody způsobené mrazem závisí čistě na jejím množství. Z dlouhodobého hlediska je větší pokles konečných pevností při použití cementu CEM I, než při použití cementu CEM III. Z výzkumu tedy vyplývá, že beton s vysokopecním cementem nebo s latentně hydraulickou příměsí, který je v krátké době po uložení zmražen, je schopen pomalejší hydratací dosáhnout vyšších pevností. (11)

Při riziku mrazu během betonáže je tedy nutné znát a především dodržet pravidla výroby, ukládání a ošetřování betonu za takto nízkých teplot, které jsou popsány snad v každé literatuře zabývající se technologií betonu (6) (10) (13) (14).

### **3.3 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ MRAZUVZDORNOST BETONU**

Vlastnosti betonu, jakožto heterogenního materiálu, závisí na celé řadě činitelů. Proto má na chování betonu při působení mrazu vliv široká škála parametrů. Zejména to, z jakých surovin beton vyrábíme, jak postupujeme při ukládání, míchání nebo zda ho poté adekvátně ošetřujeme. V této kapitole budou postupně uvedeny poznatky z této problematiky.

#### **3.3.1 KAMENIVO**

Beton je tvořen ze 75 až 80 % kamenivem, proto je nutné začít při návrhu mrazuvzdorného betonu právě u něj. (9) Pokud má být schopen beton odolávat mrazu, musí tedy i kamenivo použité v něm být mrazuvzdorné. Odolnost kameniva proti zmrazování a rozmrazování se zkouší podle normy ČSN EN 1367-1 (11) nebo ČS EN 1367-2 (12). Druhý uvedený zkušební postup se provádí pomocí síranu hořečnatého a je oproti prvnímu mnohem vhodnější pro kamenivo vystavené působení mořské vody nebo chemických rozmrazovacích látek. (13) Z petrografického hlediska je nevhodné používat břidlice, slepence a fylity. Obecně lze říct, že pokud není nasákavost kameniva dle ČSN EN 1097-6 (14) větší než 1 %, můžeme kamenivo považovat za odolné proti zmrazování a rozmrazování. Existují však horniny, které mají tuto nasákavost vyšší, přitom však vykazují vyhovující mrazuvzdornost. Jedná se například o vysokopecní strusky, dolomity a karbonské pískovce, které mohou přesahovat hodnotu nasákavosti 2 %

nebo jurské vápence a pískovce, které mají nasákavost často i přes 4 %. Z důvodu vysoké nasákavosti se jako nevhodné jeví i recyklované kamenivo.

Přítomnost jílovitých minerálů nebo prachu u drceného kameniva vede ke snížení soudržnosti cementového tmelu s kamenivem a mrazuvzdornosti betonu. Proto je obsah těchto odplavitelných částic limitován u hrubého kameniva na 1,5 % a u drobného 4 %. Vhodné je tedy prané kamenivo, u kterého je obsah těchto částic nižší. (9) Z tohoto hlediska je také lepší dát přednost těžnému písku před kopaným.

Podle výše zmíněných požadavků můžeme jako vhodná mrazuvzdorná kameniva označit žulu, čedič, amfibolit, nebo některé vápence. (9) (15)

Kromě zvoleného materiálu je třeba dbát na vhodnou skladbu kameniva a plynulou čáru zrnitosti. Cílem je dosáhnout co nejmenšího potřebného objemu cementové malty pro vyplnění prostoru mezi zrna kameniva. (16)

### 3.3.2 CEMENT

Kvalita betonu a jeho výsledné vlastnosti se odvíjí zejména od druhu použitého cementu, případně od jeho dávky. Je to více než zřejmé na současných konstrukcích, kdy některé bez problému odolávají agresivnímu prostředí ve formě cyklického zmrazování, zatímco jiné, byť srovnatelné konstrukce jeví závažné známky degradace. Navíc by se mohlo zdát, že starší betony, které se dochovaly dodnes, jsou mnohem odolnější, než ty nově vyráběné. Je to proto, že ve výrobě portlandského cementu v posledním půlstoletí došlo k výraznému posunu. Před začátkem používání plastifikačních přísad se místo nich pro snížení vodního součinitele zvyšovala dávka cementu. Docházelo k flokulaci zrn cementu a pro dosažení požadovaných pevností a ztekucení při zachování nízkého vodního součinitele 0,4 muselo dojít k výraznému zvýšení dávek cementu. Při návrhu požadovaných vlastností po 28 dnech tak došlo k výraznému předimenzování a proto v současnosti tyto betony dosahují výrazně lepších vlastností, zejména pevností. Kdežto v dnešní době, kdy je kladem obrovský důraz na rychlost výstavby, je cement mnohem jemněji mletý a jeho složení se změnilo. Podíl nezhydratovaných zrn cementu po 28 dnech se tak výrazně snížil. Přítomnost nezhydratovaného cementu má v betonu pozitivní vliv. Je totiž schopen

v místě vzniklých trhlin, po kontaktu s vodou, dodatečně hydratovat, a tím zacelit porušenou strukturu. (17) Tento jev bývá nazýván jako tzv. samovyhojování (18)

Závislost chování betonu na použitém typu cementu při cyklickém zmrazování popisuje například studie Litevské University z roku 2013. Ta se zabývala porovnáním běžně používaných portlandských, portlandských směsných a vysokopecních cementů při konstantním dávkování a bez jakýchkoli dalších přísad. Zkoušky probíhaly dle Litevské národní normy (19), kdy jeden zmrazovací cyklus trvá 24 hodin a celá zkouška sestává z 28 cyklů. Nejlépe v tomto porovnání obstál vysokopecní cement CEM III/B 32,5 N, který tak předčil klasický portlandský cement CEM I 42,5 R. Naopak jako nevhodné se dle této studie jeví použití portlandských směsných cementů, jako jsou CEM II/A-S 42,5 N nebo CEM II/A-LL 42,5 R. Rozdíly mezi těmito cementy nebyly zanedbatelné. Například zatímco zmíněný vysokopecní cement měl po těchto 28 cyklech odpad  $0,1 \text{ kg/m}^2$ , portlandský cement CEM I 42,5 R ztratil  $1,1 \text{ kg/m}^2$ . (20)

V případě vysokopecního cementu CEM III má velký význam způsob výroby tohoto cementu, zejména pak průběh mletí. Struska je oproti slínku tvrdší. Pokud se tedy melou obě složky zároveň, dojde k jemnému semletí slínku, přičemž zrna strusky zůstanou mnohem hrubší. Je tedy výhodnější mletí strusky a slínku odděleně. Dosáhne se tak stejné jemnosti mletí u obou složek. Takto namletá struska se mísí se slínkem až po mletí a výsledkem je vysokopecní cement se stejným obsahem strusky jako při mletí společném. Podstatný rozdíl je však v měrném povrchu strusky obsažené v tomto cementu a z toho vyplývající i větší rychlost reakce.

Při návrhu složení betonu podle ČSN EN 206 (1) je definován minimální obsah cementu a použitelnost cementů pro jednotlivé stupně vlivu prostředí. V závislosti na použitém druhu cementu dochází k dosažení určitých vlastností betonu. K získání příslušných odolností, a tak i předpokládané životnosti betonu je tedy mezní hodnota obsahu cementu pro každý druh cementu jiná. Je tedy otázkou, nakolik je unifikovaná hodnota uvedená v normě správná a zda je dostatečně bezpečná.

### 3.3.3 VODNÍ SOUČINITEL

Význam vodního součinitele a jeho vliv na pórovou strukturu cementového tmelu není ničím novým. Už v roce 1956 přišel Hubert Woods s alternativou k provzdušňování betonu za účelem zajištění odolnosti proti mrazu, a to snížením vodního součinitele pod hodnotu 0,40. (21) Obhajoval to tím, že dobře ošetřovaný beton s takto nízkým vodním součinitelem nebude obsahovat vodu, která by za normálních podmínek mrzla. Dalším faktem je, že snížená permeabilita způsobená nízkým vodním součinitelem výrazně sníží nasákavost betonu. Později v 70. a 80. letech tuto teorii potvrdil Young a Mindess, kteří hodnotu vodního součinitele, při které není provzdušňování nutností, upřesnili na 0,36. (22) Existuje řada podobných výzkumů, zaměřených na vývoj neprovzdušněných mrazuvzdorných betonů s nízkým vodním součinitelem s pozitivními výsledky. (16)

Je však zajímavé, že vedle těchto popisovaných neprovzdušněných betonů, které jsou schopny odolávat působení mrazu, existuje minimálně stejně početná skupina vykazující přesně opačné, tedy negativní výsledky. Například Kriesel nebo Cohen zkoušeli beton s vodním součinitelem 0,30, který měl velice chabé odolnosti proti mrazu (23) (24). Neúspěšné byly také zkoušené receptury s vodním součinitelem 0,24-0,33. (16) Z těchto výsledků neplyne jednoznačný závěr o tom, zda je možné pouhým snížením vodního součinitele dosáhnout zaručených odolností.

Z pohledu u nás platné normy ČSN EN 206 je definován zejména maximální vodní součinitel. Konkrétně pro stupeň vlivu prostředí XF3 je to 0,50 a pro XF4, kde dochází i k působení chemických rozmrazovacích látek je to 0,45. Pod tabulkou určující tyto mezní hodnoty je ještě zmíněna možnost dosažení odolností snížením vodního součinitele pod 0,40 spolu s použitím příměsí křemičitého úletu bez nutnosti provzdušňování, pokud vyhoví kritériím odolnosti. (1) Je tedy zřejmé, že i norma počítá s touto variantou, ale jistota dosažení požadovaného výsledku zde také není a musí se tudíž ověřit při průkazných zkouškách.

Podstatnou otázkou je už samotné stanovení vodního součinitele. Norma ČSN EN 206 (1) připouští výpočet s tzv. k-hodnotou, která se vztahuje k latentně hydraulickým příměsím přidávaným do betonu. Příměsi obsažené přímo v cementu se této k-hodnotě vyhnou a uvažuje se s nimi v plné výši. Je tedy

rozdíl, zda pro výrobu betonu použijeme například cement CEM III/B a nebo CEM I, ke kterému přidáme vysokopecní strusku. Příměs přidaná až při samotné výrobě betonu je tedy z hlediska vodního součinitele výrazně znevýhodněna. Díky tomu je možné o vypovídající hodnotě vodního součinitele silně polemizovat. (25)

Jednoznačně tedy nelze říci, jaký vodní součinitel zajistí odolnost betonu proti mrazu. Lze však tvrdit, že použitím kvalitních materiálů a dobrým ošetřováním čerstvého betonu, můžeme vyrobit beton s vodním součinitelem nižším než 0,36, který bude dostatečně mrazuvzdorný bez nutnosti použití provzdušnění. Pro betony s vodním součinitelem v intervalu 0,36-0,50 je pro zajištění mrazuvzdornosti potřeba dosáhnout obsahu vzduchu alespoň 4 %, přičemž je velmi podstatný obsah účinného vzduchu. Každopádně se nemůžeme spoléhat jen na tato pravidla a v každém případě je nutné danou recepturu podrobit zkouškám mrazuvzdornosti.

### 3.3.4 PŘÍSADY

#### 3.3.4.1 Plastifikační

S hodnotou vodního součinitele úzce souvisí použité přísady. V současné době se vesměs běžné betony bez vodu redukujících neboli plastifikačních, respektive superplastifikačních přísad ani nevyrábí. Pokud chceme zvyšovat odolnost betonu snižováním obsahu vody, musíme zvolit účinnou plastifikační přísadu, která zajistí správnou konzistenci a zpracovatelnost takového betonu. Důležité je u těchto přísad zjistit, jak se chovají s konkrétním cementem, zda nezvyšují obsah vzduchu v betonu, případně zda při použití spolu s provzdušňovací přísadou neovlivňují její chování. Je potřeba myslet na to, že plastifikační přísady obsahují určitou dávku odpěňovače, proto je nutné používat ověřené kombinace plastifikačních a provzdušňujících přísad, případně experimentálně ověřit vhodnost použití. Při špatně zvolené kombinaci přísad může docházet k mírnému zvětšení velikosti pórů nebo k napěňování čerstvého betonu.

#### 3.3.4.2 Provzdušňující

Při použití provzdušňující přísady je třeba dbát na to, že s rostoucím obsahem vzduchu klesá výsledná pevnost betonu (v rozmezí 4-7 % vzduchu je to pokles pevnosti o 5 % na každé 1 % vzduchu). (17) Dalším účinkem provzdušnění je stabilizace čerstvého betonu, mírná plastifikace, tudíž i redukce vodního

součinitele. Ve ztvrdlém betonu poté kulovité póry narušují kapilární strukturu, a tím zajišťují dobrou vodotěsnost a tudíž i z tohoto hlediska skýtají dobrý předpoklad mrazuvzdornosti. Dávka provzdušňující přísady závisí na jemnosti mletí cementu, obsahu jemných částic v kamenivu, teplotě, konzistenci. S rostoucím měrným povrchem suchých složek je potřeba větší dávka přísady. Pro správné fungování provzdušňující přísady je stěžejní účinnost a způsob míchání. To by mělo být dostatečně dlouhé a intenzivní na to, aby se vzduch rozptýlil rovnoměrně v celém objemu čerstvého betonu a aby došlo k rozdělení velkých pórů na menší. Většinou se přidává tato přísada až jako poslední složka záměsi a poté dojde k dostatečnému promíchání. Jsou však známy i postupy, při nichž se provzdušňující přísada přidává k mokrému kamenivu ještě před cementem a plastifikátorem. (17)

Důležitým hlediskem při posouzení provzdušňující přísady není jen samotný obsah vzduchu v čerstvém betonu, ale hlavně posouzení velikosti a prostorové distribuce vzduchových pórů. Tyto charakteristiky totiž mají zásadní vliv na výslednou mrazuvzdornost betonu, protože uzavřené kulovité póry slouží jako kompenzační prostor při zvětšování objemu ledu při přechodu do pevného skupenství. (9) V ideálním případě je cílem provzdušňujících přísad vytvořit v cementové maltě rovnoměrný systém uzavřených kulových pórů velikosti do 300  $\mu\text{m}$ . Bylo dokázáno, že takové póry jsou schopny zlepšit odolnost proti mrazu, a to i lépe, než například latentně hydraulické, či pucolánové příměsi. (26) (27)

Z praktického hlediska je dosažení takto dokonalého efektivního provzdušnění nelehkou záležitostí a je tedy nutné pro každý konkrétní případ vyzkoušet účinky provzdušňovací přísady s konkrétní recepturou a technologií výroby, dopravy i ukládání daného betonu.

#### 3.3.4.3 Retardační

Negativní dopad na trvanlivost betonu v prostředí působení mrazu mohou mít přísady zpomalující tvrdnutí betonu. K takovému výsledku dospěl výzkum, porovnávající účinky různých dávek retardéru na mrazuvzdornost betonu. Zjistilo se, že přidáním této přísady dojde k několikanásobnému růstu odpadu a k podobně významnému poklesu rychlosti průchodu ultrazvukových vln. (20)

#### 3.3.4.4 „Mrazuvzdorné“

Specifickým typem jsou přísady, některými výrobci označované jako mrazuvzdorné. (28) Jedná se o urychlovače tvrdnutí, které nemají za úkol zajistit betonu dlouhodobou odolnost proti mrazu a navíc snižují jeho konečné pevnosti. Umožňují pouze betonování za nízkých teplot, urychlují vývin hydratačního tepla a výrazně zkracují dobu zrání betonu.

Další možností mohou být přísady těsnící, které zvyšují hutnost a snižují pórovitost, zejména pak obsah makropórů. Během hydratace vytváří nerozpustné sloučeniny, které zmenšují průřez kapilár, případně je zcela přerušují. (9) U těchto přísad může být také zdůrazněn pozitivní vliv na mrazuvzdornost betonu. (29) Podobný účinek na kapilární systém mají již zmíněné provzdušňující přísady.

#### 3.3.5 PŘÍMĚSI

Trvanlivý beton odolávající cyklickému působení mrazu lze vyrobit z čistě portlandského cementu, jakožto jediného pojiva. Je však výhodné využít pucolánově aktivní příměsi, a to jak z ekonomického, tak i z kvalitativního hlediska. Při hydrataci cementu dochází ke vzniku CSH gelu, který je hlavním nositelem mechanických vlastností a odolností betonu. Vedle toho vzniká také portlandit, který udržuje vysoké pH a tím pasivuje výztuž v betonu. K mechanickým vlastnostem však přispívá portlandit velmi málo, navíc může způsobovat problémy s trvanlivostí, protože může dojít k jeho vyluhování, což způsobuje růst pórovitosti. Při použití pucolánově aktivních příměsí dojde k pucolánové reakci, při které tento portlandit přechází do CSH gelu a stává se tak z hlediska pevnosti a mrazuvzdornosti mnohem užitečnějším.

Adekvátní množství pucolánu pro reakci a převod vápna, vznikajícího hydratací portlandského cementu, do CSH gelu je teoreticky 20-30 %. V reálných podmínkách jsou tyto hodnoty spíše orientační, protože pucolánová reakce probíhá v řádu měsíců až roků a navíc neproběhne zcela úplně. Z tohoto hlediska může být pucolánová reakce příznivá při působení mrazu v prvních měsících po výrobě betonu. Trhlínky vzniklé působením mrazu mohou být zaplněny CSH gely, které jsou právě produktem pucolánové reakce a dojde tak k ucelení struktury.

V případě použití mikrosiliky, respektive nanosiliky využíváme jednak těchto pucolánových vlastností, a také mnohem většího měrného povrchu oproti

cementu. Křemičité úlety jsou tedy schopny vyplnit a zpevnit transiční zónu mezi zrny kameniva a cementovou maltou a také celkově utěsňují strukturu betonu. Účinek mikro a nanosiliky byl dokázán řadou studií, kdy byla pozorována snížená permeabilita a nasákavost a naopak zvýšená vodotěsnost a pevnosti. (30) (27) V úvahu bereme neprovzdušněné betony, u kterých je principem mrazuvzdornosti utěsnění betonu tak, aby se do něj nedostala voda, která při zmrazení svými objemovými změnami působí nevratná poškození.

Máme tedy dvě vcelku ověřené metody, jak zlepšit mrazuvzdornost betonu, a to buď správným a efektivním provzdušněním anebo použitím pucolánové příměsi ve formě mikrosiliky. S praxe víme, že se však používá i kombinace těchto dvou přístupů. Studie ukázaly, že v případě použití provzdušněného betonu s mikrosilikou má na výslednou odolnost betonu vliv zejména provzdušnění (30) (33). Množství použité mikrosiliky ovlivňuje spíše pevnost betonu a na pórovou strukturu, potažmo mrazuvzdornost vliv nemá. Přičemž korelace mezi pevností betonu a jeho mrazuvzdorností může být zcela zanedbatelná. (30) Otázkou je také to, zda v takovém případě nemůže mít použití mikrosiliky spíše negativní důsledek. U provzdušněného betonu sledujeme distribuci vzduchových pórů v cementovém tmelu. Vycházíme z úvahy, že pokud má při zmrazování kapilární voda v kapalném skupenství, která je tlačena rostoucím ledem, kam uniknout, neporuší cementový tmel a tím beton tomuto zatížení odolá. Je tedy zřejmé, že je v tomto případě jistá permeabilita nutná k migraci této kapaliny. Kombinovat mikrosiliku s provzdušněním přináší i technologické komplikace. Je tedy mnohem jednodušší vyrobit neprovzdušněný, dobře utěsněný beton, který je schopen odolávat velmi nepříznivým podmínkám, jaké panují například na ropných plošinách v severním moři.

### **3.4 METODY ZKOUŠENÍ MRAZUVZDORNOSTI**

Sledování funkčních parametrů betonu je pro jeho charakteristiku velmi významné. Z hlediska pevnosti v tlaku je zjištění poměrně jednoduché. Postačí nám změřit velikost síly způsobující poškození zkušebního tělesa o známých rozměrech. V případě mrazuvzdornosti betonu, tedy jeho dlouhodobých odolností v agresivním prostředí, potřebujeme věrohodně simulovat takovéto zatížení v co možná nejkratším čase. Pro zkoušku je potřeba zařízení, které je schopno takové prostředí vytvořit, ale hlavně je třeba definovat průběh zkoušky tak, aby co nejlépe

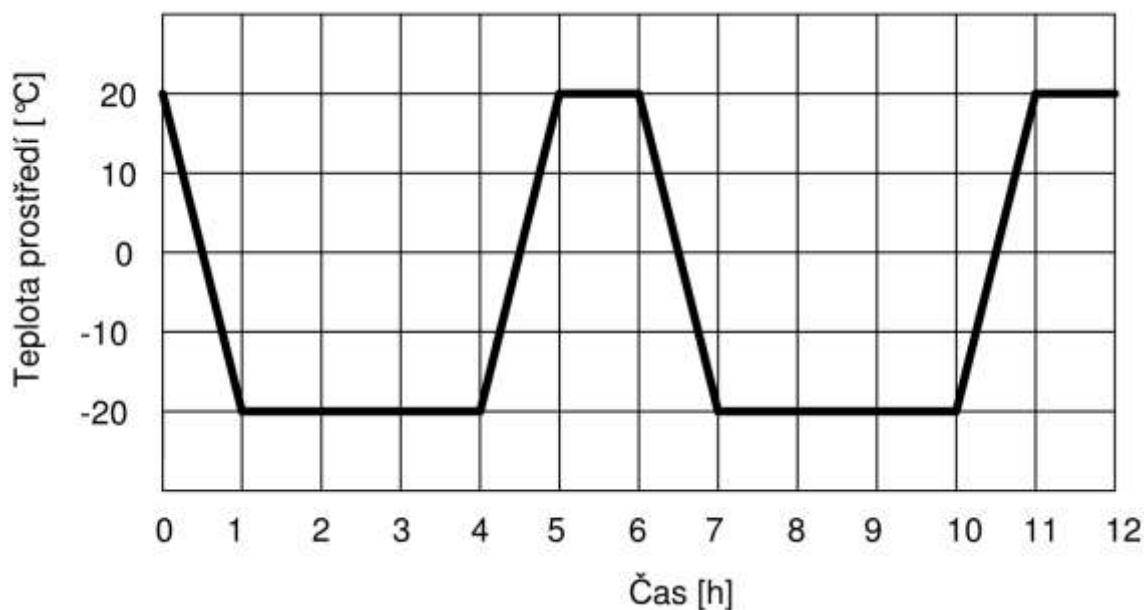


a nejpodobněji vystihl reálné podmínky. Ve světě existuje celá řada zkušebních postupů stanovování mrazuvzdornosti, mezi kterými jsou větší či menší odlišnosti. Je tedy jasné, že jednotný názor na tuto problematiku neexistuje. Obecně je stěžejním parametrem zkoušky velikost zkušebního tělesa, teplotní a časový průběh jednotlivých cyklů a v závěru způsob vyhodnocení výsledné hodnoty odolnosti.

#### 3.4.1 STANOVENÍ MRAZUVZDORNOSTI BETONU

V České republice se stanovuje mrazuvzdornost betonu podle normy ČSN 73 1322 (3), která nabyla účinnosti už v roce 1969 a s určitými úpravami platí i v současnosti. Jedná se o základní zkoušku pro zkoušení odolnosti betonu proti střídavému zmrazování a rozmrazování, která se provádí na vodou nasycených betonových trámcích o rozměru 100x100x400 mm. Tato tělesa mohou být vyrobená z čerstvého betonu ve formách, případně vyjmuta přímo ze stávající konstrukce. Pro zkoušku je potřeba dvou sad těchto těles z nichž každá obsahuje minimálně 3 tělesa. Jedna sada těles projde zmrazovacími cykly a druhá nezmrázaná sada slouží pro porovnávací účely. Přesný počet zkušebních trámců vychází také z počtu mezilehlých kontrol a způsobu jejich provádění. Norma připouští pro průběžné sledování změn struktury betonu i nedestruktivní dynamické zkoušky (ultrazvukové nebo resonanční).

Jeden zmrazovací cyklus trvá 6 hodin a skládá se ze 4 hodin zmrazování a dvou hodin rozmrazování. Při zmrazování se teplota musí pohybovat v rozmezí -15 až -20 °C pro betony vystavené mrazu do -20 °C. Pro betony vystavené mrazu pod -20 °C jsou teploty tohoto intervalu ještě o 3 °C nižší. Zmrazovací zařízení musí být dostatečně výkonné, aby bylo dosaženo stanovené nejnižší teploty minimálně po dobu poloviny zmrazovací doby, tedy po dobu aspoň dvou hodin. Po předepsaném počtu zkušebních cyklů, zpravidla jsou to násobky 25, se po stanovení rozměrů, hmotnosti a objemové hmotnosti zkouší trámce na pevnost v tahu za ohybu podle ČSN EN 12390-5. (31) Pevnost v tahu za ohybu se takto určí i u porovnávacích trámců a to ve stáří, při kterém začnou probíhat zmrazovací cykly.



OBR. 3. PRŮBĚH ZÁVISLOSTI NA ČASE DLE ČSN 73 1322 (3)

Tato zkouška je ukončena dokončením předepsaného počtu cyklů nebo úbytkem hmotnosti v průběhu zkoušky, který přesahuje 5 %. Vyhodnocení zkoušky obsahuje zjištěné úbytky hmotnosti zmrazovaných trámů a zejména součinitel mrazuvzdornosti. Ten získáme jako výsledek poměru hodnoty aritmetického průměru pevnosti v tahu za ohybu zmrazovaných těles k hodnotě aritmetického průměru pevností v tahu za ohybu porovnávacích těles. Jako mrazuvzdorný se označuje beton, jestliže je výsledný součinitel mrazuvzdornosti větší než 0,75 respektive 75 % (3).

### 3.4.2 ZRYCHLENÉ ZKOUŠKY MRAZUVZDORNOSTI

Za zmínku stojí také od roku 2003 zrušená norma popisující zkrácené zkoušky mrazuvzdornosti (32). Metoda využívá stanovení nasákavosti betonu během 24 hodin proti všem ostatním zkouškám, které jsou založeny na cyklickém zmrazování. Využitím tohoto postupu pro orientační zkoušky umožňující rychlé prvotní odhadnutí mrazuvzdornosti betonu se zabýval výzkumný projekt (38). Cílem bylo zhodnotit vypovídající hodnotu této překvapivě levné a rychlé metody. Normou (32) je tato zkušební metoda určena pro betony, které nejsou v období mrazu v trvale mokrému stavu a jejichž pevnost je nejméně  $220 \text{ kp/cm}^2$  ( $22 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$ ). Pro porovnání byla provedena i klasická zkouška mrazuvzdornosti (3) na trámcích. Zkouška byla ukončena už po 50 cyklech. Není uvedeno, jaký byl důvod tak nízkého počtu cyklů. Index mrazuvzdornosti byl navíc počítán z pevnosti v tlaku na

zlomcích trámců, místo pevnosti v tahu za ohybu jak předepisuje norma (3) a poté byl porovnáván s mezní hodnotou součinitele mrazuvzdornosti 0,75 pro podíl pevností v tahu za ohybu. Není tedy jasné, zda součinitel mrazuvzdornosti 0,75 stanovený z podílů pevností v tlaku zajišťuje stejnou mrazuvzdornost. Bylo zjištěno, že pro lehké betony s pórovitým kamenivem je zrychlená zkouška pomocí nasákavosti naprosto nevhodná. Horní mez nasákavosti po korekci pro mrazuvzdorné betony je po 10 minutách ponoření ve vodě 2,5 %, po 24 hodinách 6,5 %. Z dnešního pohledu je nasákavost drtivé většiny konstrukčních betonů po 24 hodinách ponoření nižší než 6,5 %, ale rozhodně nelze tvrdit, že jsou tyto betony všechny mrazuvzdorné.

Ověřením možnosti použití nasákavosti, případně hloubky průsaku tlakovou vodou pro prognózu mrazuvzdornosti se zabývá praktická část práce. Zmíněný projekt (38) hodnotí metodu zkrácené zkoušky mrazuvzdornosti betonu stanovením nasákavosti jako vhodné pro počáteční orientační hodnocení nově ověřované receptury betonu. O tomto tvrzení mám však značné pochybnosti, z důvodu nestandardního vyhodnocování mrazuvzdornosti v rámci daného projektu a také kvůli velmi malé rozlišovací schopnosti při porovnání běžných receptur pro konstrukční betony (C 30/37), jejichž nasákavost se pohybuje většinou v rozmezí 2-3 %, avšak odolnost proti mrazu je různá.

### 3.4.3 ZKOUŠENÍ ODOLNOSTI BETONU PROTI ZMRAZOVÁNÍ A ROZMRAZOVÁNÍ

Porušením vnitřní struktury betonu mrazem se zabývá také norma vydaná v roce 2007 (34), která vychází z evropského standardu (35). Tato norma popisuje celkem tři metody zjišťování porušení vnitřní struktury. Konkrétně je to zkouška CIF, zkouška na desce (Slab-test) a na trámci. První dvě jmenované jsou však složité na provádění a nejsou dostatečně citlivé. Metoda na trámci je velice podobná se zkušebním postupem podle ČSN 73 1322. (3) (36) Zmrazovací a rozmrazovací fáze však oproti zvyklostem z předchozí normy trvá dvakrát tak dlouho. Tedy 8 hodin zmrazování a 4 hodiny rozmrazování ve vodě. Celkem tedy jeden cyklus trvá 12 hodin.

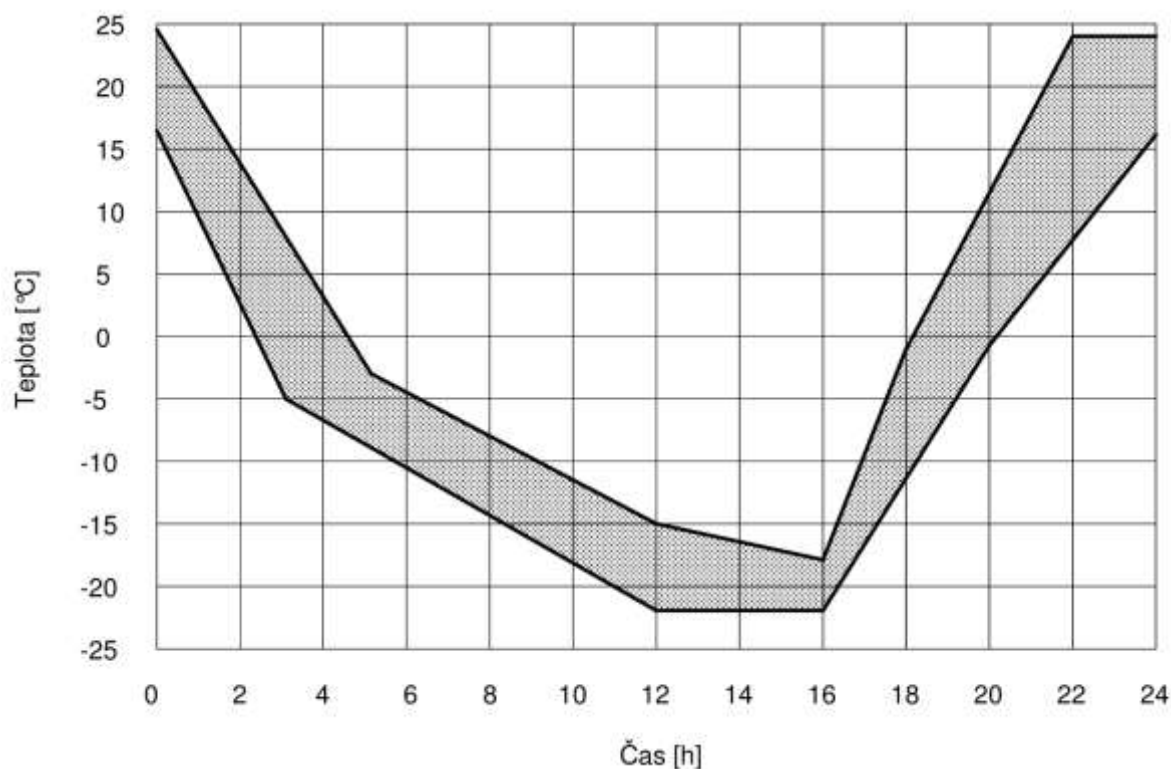
Pro odhalení způsobeného porušení struktury betonu se používá stanovení dynamického modulu pružnosti pomocí ultrazvuku (37) nebo pomocí vlastní příčné frekvence, tedy rezonanční metodou (38). To je taky asi hlavní výhoda oproti ČSN 73 1322 (3), protože získáme průběžný pohled na vývoj poškození struktury

betonu, namísto pouhého součinitele mrazuvzdornosti. Navíc tyto změny pozorujeme u každého jednotlivého trámce a neporovnáváme různé trámce mezi sebou. Lze předpokládat, že při poklesu hodnoty dynamického modulu pružnosti o 25 % nelze beton považovat za mrazuvzdorný pro daný počet cyklů. (36) Velkou nevýhodou této metody je však celková délka zkoušky. Při zkoušce trvající 100 cyklů se dostáváme na 7 týdnů a například při zkoušce betonu pro železniční pražce, u kterého je předepsaná odolnost na 200 cyklů se dostáváme na dobu přesahující tři měsíce. Vhodná by byla kombinace zkoušky mrazuvzdornosti a porušení vnitřní struktury betonu. Výsledkem by mohla být zkouška sestávající z šestihodinových cyklů, s pravidelným měřením dynamického modulu pružnosti a závěrečným porovnáním pomocí destruktivních zkoušek, ať už s pomocí tahu za ohybu nebo například statického modulu pružnosti.

#### 3.4.4 ODOLNOST PROTI ZMRAZOVÁNÍ A ROZMRAZOVÁNÍ - ODLUPOVÁNÍ

Výše popsané stanovení mrazuvzdornosti hodnotí zejména odolnost betonu proti porušení vnitřní struktury mrazem. S praxe však víme, že kromě toho dochází i k tzv. odlupování, tedy porušení čistě povrchových vrstev betonu nasáklých vodou, případně vodou s chemickými rozmrazovacími látkami. Na tomto principu funguje zkouška odlupování dle ČSN P CEN/TS 12390-9 (39). Jako zkušební tělesa se používají desky o tloušťce 50 mm vyříznuté z klasické krychle o hraně 150 mm. Ve stáří betonu  $25 \pm 1$  den se všechny povrchy zkušební tělesa, kromě zkoušené plochy, opatří gumovým těsněním tak, aby okraj těsnění přesahoval po obvodu zkoušené plochy o 20 mm. Ve stáří 28 dnů se na zkoušený povrch nalije deionizovaná voda do výšky 3 mm a tato hladina je udržována po dobu 72 hodin. Před samotnou zkouškou se zkušební těleso ze všech stran, vyjma zkoušené plochy, opatří polystyrenem tloušťky 20 mm. Zkouška tedy začíná ve stáří betonu 31 dnů. Místo deionizované vody je možno na zkušební povrch nalít 3 % roztok NaCl. V průběhu zkoušky je tento zmrazovací roztok překryt polyethylenovou folií, která brání jeho odpařování.

Oproti stanovení mrazuvzdornosti podle ČSN 73 1322 je zmrazovací cyklus při měření odlupování výrazně delší. Konkrétně se jedná o 24 hodin, během kterých musí být teplota nad 0 °C po dobu minimálně 7 hodin, ne však déle než 9 hodin. Teplota se v průběhu zkoušky měří uprostřed na zkoušeném povrchu a její hodnota v čase se musí nacházet v definovaných intervalech.



OBR. 4. ZÁVISLOST TEPOLOTY NA ČASE ZMRAZOVACÍHO ROZTOKU UPROSTŘED NA ZKOUŠENÉM POVRCHU DLE ČSN P CEN/TS 12390-9 (44)

Po 7, 14, 28, 42 a 56 zmrazovacích cyklech se provádí kontrola zkoušeného povrchu. Stanoví se množství odloupeného materiálu a následně je na povrch nalit čerstvý rozmrazovací roztok.

Je zřejmé, že tato zkouška je velmi náročná z několika hledisek. Je nutné ji provádět v klimatizační komoře, která je schopna přesně dodržet požadovaný průběh teplot. Při dodržení předepsaných 56 cyklů, které začínají ve 31 dnech stáří betonu, se dostáváme na 87 dnů od výroby betonu, po kterých teprve získáme výsledek zkoušky. Navíc tuto zkoušku laboratoře u nás běžně neprovádí. Při mezilaboratorním porovnání byly zjištěny velké rozptyly hodnot odpadů a tudíž značná nereprodukovatelnost výsledků, způsobená náročností výroby zkušebních těles a průběhu zkoušky. (40)

Tento předpis připouští ještě alternativní metody zkoušení a to na krychlích o hraně 100 mm, které jsou celé ponořené ve zmrazovacím roztoku, a jeden cyklus trvá 24 hodin. Druhou alternativní metodou je zkouška CF/CDF, u které trvá jeden cyklus polovinu času, tedy 12 hodin a jako zkušební tělesa se používají poloviny klasických krychlí o hraně 150 mm, vyrobené za pomoci polytetrafluorethylenové

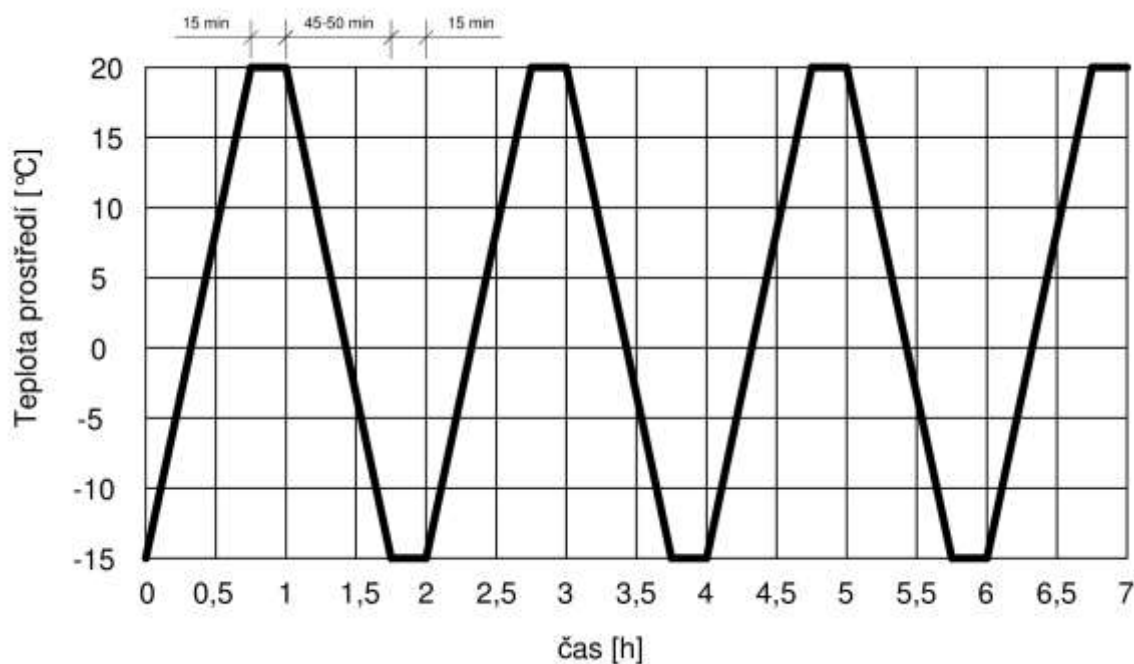
přepážky umístěné ve standardní formě. Takto připravené vzorky jsou ponořeny pouze zkoušeným povrchem do zmrazovacího roztoku. V obou těchto případech je možné použít 3 % roztok NaCl případně deionizovanou vodu jakožto zmrazovací roztok.

### 3.4.5 STANOVENÍ ODOLNOSTI POVRCHU BETONU PROTI PŮSOBENÍ VODY A CHRL

Asi nepoužívanější a také nejdiskutovanější zkouškou v oblasti odolnosti proti mrazu a chemickým rozmrazovacím látkám je právě ta podle normy ČSN 73 1326 (41). Jak už z názvu vyplývá, jedná se o stanovení povrchových odolností betonu, tudíž výsledky nemusí vystihovat celkovou odolnost struktury betonu. Vlastnosti povrchové vrstvy betonu jsou však pro životnost konstrukce neméně důležité například z důvodu ochrany výztuže před korozí. Právě povrch je totiž nejvíce namáhán vodou a rozmrazovacími prostředky. Norma (41) původně obsahovala dva zkušební postupy. Metodu automatického cyklování (A) a metodu ruční manipulace (B). Druhý zmíněný postup se v dnešní době z důvodu vyšší pracnosti nepoužívá. V roce 2003 byla přidána další metoda automatického cyklování II (C). Při zkoušení odolnosti se používá metoda A i C. Porovnatelnost těchto dvou metod je však stále poměrně nejasná.

#### 3.4.5.1 Metoda automatického cyklování - A

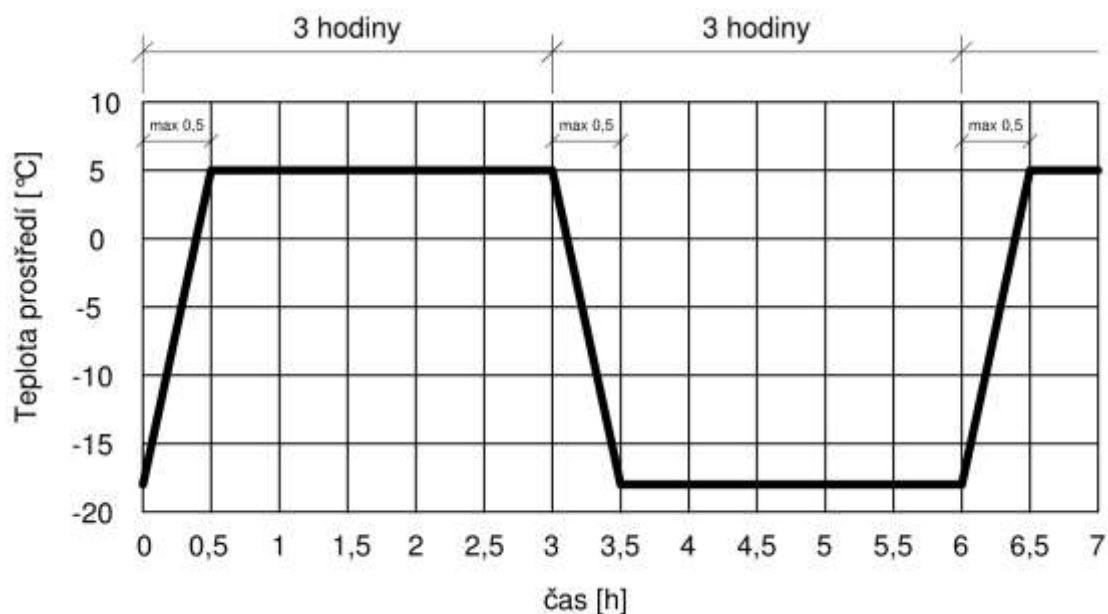
Při této metodě se používají nejčastěji zkušební tělesa tvaru krychle. Ty se ponoří zkoušenou plochou do misek, které obsahují roztok s chemickou rozmrazovací látkou (3 % roztok NaCl) a zároveň slouží pro zachycení odpadu. Tělesa jsou ponořena do roztoku tak, aby hladina dosahovala do výšky 5 mm nad zkoušenou plochu. Podstatné tedy je, že kromě zkoušené plochy je roztokem zatížena i část bočních stěn těles. Jednotlivé cykly se skládají z chlazení zkoušené plochy na teplotu -15 °C a ohřevu zpět na 20 °C, přičemž nejvyšší a nejnižší teplota musí být udržována nejméně 15 minut. Celkem trvá jeden cyklus 2-2,5 hodin. Hmotnost odpadu se stanovuje po každých 25 cyklech a celé zkouška trvá obvykle 100 cyklů. Odolnost povrchu betonu proti působení vody a CHRL se vyjadřuje hmotností odpadu na m<sup>2</sup> betonu. Zkouška je dokončena buď dokončením předepsaného počtu cyklů, nebo překročením nejvyšší přípustné hodnoty odpadu. (41)



OBR. 5. METODA A - PRŮBĚH ZÁVISLOSTI TEPLoty NA ČASE (4)

#### 3.4.5.2 Metoda automatického cyklování - C

Základním zkušebním tělesem pro tuto metodu jsou válce o průměru 150 mm, které mohou být vyrobeny v odpovídajících formách nebo odvrtány ze stávající konstrukce. Tělesa jsou opatřena vodotěsnou objímkou, která jasně vymezuje zkoušenou plochu. Ta je orientovaná směrem nahoru a rozmrazovací roztok je nalit přímo na ni. Rozdílný je i průběh jednotlivých cyklů, které mají dvě teplotní úrovně vzduchu v chladícím zařízení. Horní mez je 5 °C a trvá 3 hodiny a další 3 hodiny trvá výdrž při -18 °C. Celkem tedy cyklus probíhá 6 hodin, což je přibližně dvakrát více, než u metody A. Hmotnost uvolněných částic se stanovuje také po každých 25 cyklech. (41)



OBR. 6. METODA C - PRŮBĚH ZÁVISLOSTI TEPLoty NA ČASE (4)

Přestože jsou obě metody uvedené v normě (2) běžně používány, je stále jejich porovnatelnost a opakovatelnost velmi diskutovaným tématem, které často vede ke sporům o kvalitě realizovaného betonu. A nejde jen o vzájemné srovnání metod. I v rámci jedné metody lze totiž pozorovat značnou variabilitu výsledků (42). U metody C se hovořilo o větší přísnosti, naopak u metody A je zase diskutovaný tzv. hranový efekt, kdy dochází během zmrazování k namáhání hran zkušebních těles i z okrajů bočních stěn sousedících se zkoušenou plochou. Navíc jsou hrany k takovému namáhání citlivější a s tím souvisí i navýšení odpadu v celkovém měřítku zkoušky (40). Umístění rozmrazovacího roztoku vzhledem ke zkušebnímu tělesu je u obou metod rozdílné. Metoda C jednoznačně ohraničuje zkoušenou plochu, kdežto u metody A může docházet ke vztlínání roztoku i nad úroveň jeho hladiny. Tomu by se dalo zabránit například vhodným nátěrem bočních stěn. Norma (41) sice říká, že zkušební plocha je ta, která je smáčená rozmrazovacím roztokem, ale nedefinuje, zda je to pouze povrch pod hladinou, či oblast, kam vyvzlínala voda. Dalším obtížně sledovaným faktorem je koncentrace rozmrazovacího roztoku. Není jasně definované, jakou vodu a jak čistou sůl použít pro přípravu roztoku. V průběhu zkoušky je hladina roztoku nezakrytá a tak dochází k odpařování a tím ke změně koncentrace roztoku. U metody A kvůli vypařování roztoku kolísá i výška hladiny a tím i velikost smáčené plochy. Pro



vyloučení tohoto faktoru by stálo za zvážení zabránit vypařování roztoku například folií, jak je to popsáno v ČSN P CEN/TS 12 390-9 (39).

Při stanovování množství odpadů dochází k většímu rozptylu, pokud vážíme odpadlé částice po každých 25 cyklech zvlášť, nebo zvážíme veškerý odpad z celé zkoušky najednou. Při jednotlivém vážení dochází ke sčítání nejistot měření. Tyto nejistoty se potom násobí v důsledku přepočtu množství odpadlých částic na  $\text{m}^2$ , kdy v případě krychlí dochází ke 44,4 násobnému zvětšení.

Kromě všech těchto nejasností, které norma přesněji nespecifikuje, se musí pochopitelně uvažovat i s lidským faktorem, který se projevuje už od výroby zkušebních těles, zejména zkoušeného povrchu, ošetřování a manipulace se zkušebními tělesy. Hodně diskutovaný je také vliv separačního přípravku a druhu zkušebních forem (43). V případě vodního uložení zkušebních těles před zkouškou lze výsledek ovlivnit kvalitou vody, protože čistá pitná voda vyluhuje povrchové vrstvy betonu a zhorší tak jejich odolnost (42). Při splavování odpadlých částic a jejich vážení může dojít také ke znatelnému ovlivnění výsledku (40).

Je tedy na zvážení, nakolik je rozumné striktně dbát na hranici  $1000 \text{ g/m}^2$  odpadu po 100 cyklech (pro prostředí XF4), v případě, že dojde k jejímu překročení o pár desítek gramů. Při opakovaném zkoušení stejného betonu v jedné akreditované laboratoři stejným pracovníkem totiž dosahujeme rozdílů, které z definic opakovatelnosti a reprodukovatelnosti nebudou překračovat hodnotu opakovatelnosti  $1\,235 \text{ g/m}^2$  v průměru ne více než jednou ve 20 případech při běžném a správném provádění zkušební metody (42).

Vedle simulace přímého působení mrazu, případně chemických rozmrazovacích látek existuje řada nepřímých zkoušek zaměřených zejména na obsah a distribuci vzduchových pórů v betonu a to jak v čerstvém tak ve ztvrdlém stavu. V ČSN EN 206 je předepsaný obsah vzduchu v čerstvém betonu stanovený podle ČSN EN 12350-7 (44), maximální součinitel rozložení vzduchových pórů a minimální obsah mikropórů obojí dle ČSN EN 480-11 (45).

#### 3.4.6 OBSAH VZDUCHU – TLAKOVÉ METODY

Při stanovení obsahu vzduchu v čerstvém betonu se využívá tlaková metoda daná normou ČSN EN 12350-7 (44), která funguje na principu Boyle-Mariottova

zákona. Výsledkem je procento veškerého vzduchu, obsaženého v čerstvém betonu. Víme, že neprovzdušněné betony obsahují 1,5–2,5 % vzduchu. Provzdušněný beton s obsahem vzduchu stanoveným touto metodou v intervalu 4–6 % by měl dostačovat k dosažení součinitele prostorového rozložení přibližně 0,2 mm. (17) To je také nejpřísnější požadovaná maximální hodnota uváděná v normě pro stupeň vlivu prostředí XF4. (1) Otázkou tedy je, nakolik je takto stanovený obsah vzduchu v čerstvém betonu vypovídající pro odolnost betonu proti mrazu. Víme totiž, že rozhodně ne všechny vzduch obsažený v betonu je při tomto namáhání užitečný.

### 3.4.7 AIR-VOID ANALYSER

Pro přesnější představu o velikosti pórů v čerstvém betonu existuje jiná metoda pomocí přístroje označovaného jako Air-Void Analyzer, zkráceně AVA. Její použití není u nás běžné, přitom je pro charakteristiku vzduchových pórů velice výhodná.

Vzorek pro zkoušku je možné odebrat z právě vybetonované konstrukce. Zjistíme tedy vlastnosti čerstvého betonu již po uložení na své místo, nikoli jen odebraného vzorku z míchačky, případně domíchávače, či čerpadla. Odebraný vzorek o objemu 20 ml neobsahuje hrubé frakce kameniva, jedná se tedy pouze o cementovou maltu do 6 mm. Ta se vloží do spodní části zkušební aparatury, kde je rozmíchána v glycerolu, což je kapalina o výrazně větší viskozitě než voda. Nad vrstvou glycerolu se nachází voda, pod jejíž hladinou je umístěna Petriho miska, uchycená na tenzometrech. Po rozmíchání malty dochází k uvolňování vzduchu do glycerolu, kterým bublinky pomalu stoupají přes vodu a jsou zachytávány Petriho miskou. Nejprve se uvolňují bublinky většího průměru. Čím menší průměr, tím je rychlost stoupání kapalinou nižší. Tímto způsobem je tedy možné vážit vzduch zachycený na Petriho misce a v závislosti na čase tak určit přesně množství pórů daného průměru. V podstatě jsme tak schopni měřit spacing factor čerstvého betonu. Oproti spacing factoru stanoveného lineární optickou metodou (45) na ztuhlém betonu získáme spacing factor měřený objemově a tedy mnohem přesněji. Měření pomocí AVA je navíc přísnější, vzhledem k tomu, že mikropóry průměru menšího než 10  $\mu\text{m}$  jsou vzhledem k jejich velmi malé hmotnosti mimo rozsah měření, a tedy se nezapočítávají do celkového obsahu vzduchu. Dále jsme schopni z naměřených hodnot vyjádřit specifický povrch pórů. Zkouška pomocí

AVA není náročná z časového hlediska. Měření trvá asi 30 minut, což je vzhledem k tomu, jak hodnotné informace získáme, příznivé. (46)



OBR. 7. AVA - ODBĚR VZORKŮ - ZKUŠEBNÍ APARATURA- PRŮBĚH MĚŘENÍ (50)

Tato zkušební metoda se používá v Severní Americe, Evropě i Japonsku, zatím pro ni však neexistuje norma. Je využívána tedy jako doplňková zkouška ke standardně prováděným. (46) Její velkou výhodou oproti klasickému měření obsahu vzduchu tlakovou metodou je její automatizace. Je tak vyloučen lidský faktor, kterým lze tlakovou metodu velmi ovlivnit.

#### 3.4.8 STANOVENÍ CHARAKTERISTIK VZDUCHOVÝCH PÓRŮ VE ZTVRDLÉM BETONU

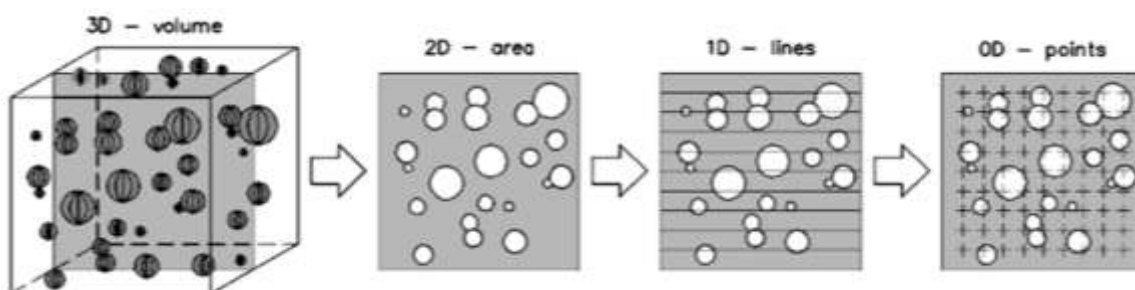
U nás je v této době asi nejdetailnější zkouškou pro stanovení pórové struktury v betonu ta podle ČSN EN 480-11 (45). Výsledkem zkoušky je stanovení celkového obsahu vzduchových pórů, měrný povrch těchto pórů, součinitel prostorového rozložení vzduchových pórů, obsah mikroskopických pórů a rozdělení velikostí pórů.

Jako zkušební tělesa se používají vybroušené a vyleštěné výřezy ztvrdlého betonu, které se ještě upravují tak, aby došlo ke zvýšení kontrastu a zvýraznění vzduchových pórů. Struktura vzduchových pórů se zjišťuje snímáním měřících přímek, které probíhají rovnoběžně s původním horním povrchem vzorku. Zaznamenává se počet pórů, ležících na měřící přímce a také délky jednotlivých tětív. Z těchto získaných dat se poté vyhodnocují výsledné parametry. Složitost tohoto procesu je zřejmá. Už samotná příprava vzorků vyžaduje kromě času také zkušenost a zručnost, jelikož kvalita měření je úzce spjata s kvalitou přípravy zkoušených ploch. Povrch určený ke zkoušení je třeba vybrousit tak, aby byl

rovnoběžný s protější stranou vzorku. Za sucha musí mít povrch matný lesk a póry ostré okraje. Taky nesmí dojít k zanesení pórů odpadním materiálem při broušení. Vybroušená plocha se musí očistit a to ideálně vodou nebo stlačeným vzduchem, aby se nepoškodily okraje pórů. Poté se povrch natře kontrastním inkoustem a póry se pečlivě vyplní zinkovou pastou. Aplikace kontrastního inkoustu a zejména zinkové pasty vyžaduje velmi precizní provedení. Pasta musí zcela vyplnit všechny mikropóry a po vysušení musí být důkladně odstraněny její přebytky. (45)

Při měření zjišťujeme velikosti tětv jednotlivých pórů, ležících na měřících přímkách na měřeném povrchu a na základě těchto hodnot stanovujeme prostorové a objemové vlastnosti betonu. Z těch potom vyvozujeme schopnosti betonu odolávat agresivnímu prostředí. Bylo by dobré se zamyslet, zda je to v dnešní době opravdu nejvhodnější způsob měření. Například Hasholt (47) zastává názor, že pro vyjádření odolnosti proti zmrazování a působení chemických rozmrazovacích látek je vhodnější měrný povrch vzduchových pórů, než spacing faktor.

Hodnocení mrazuvzdornosti na základě součinitele prostorového rozložení pórů může být problematické. Analýzou dat z různých experimentů bylo zjištěno, že spacing faktor závisí na řadě okolností, kterými může být obsah mikrosiliky, typ cementu, vodní součinitel. Pro různé typy betonů je také odlišná kritická hodnota součinitele prostorového rozložení vzduchových pórů, která má dostačovat pro zajištění mrazuvzdornosti. Například pro beton s mikrosilikou a vodním součinitelem do 0,5 je tato hodnota 0,25 mm, pro HPC s vodním součinitelem 0,30 až 0,35 je to 0,50 mm a pro betony s 6 % mikrosiliky a vodním součinitelem 0,33 dokonce 0,90 mm. (48)



OBR. 8. METODY ANALÝZY STRUKTURY VZDUCHOVÝCH PÓRŮ (52)

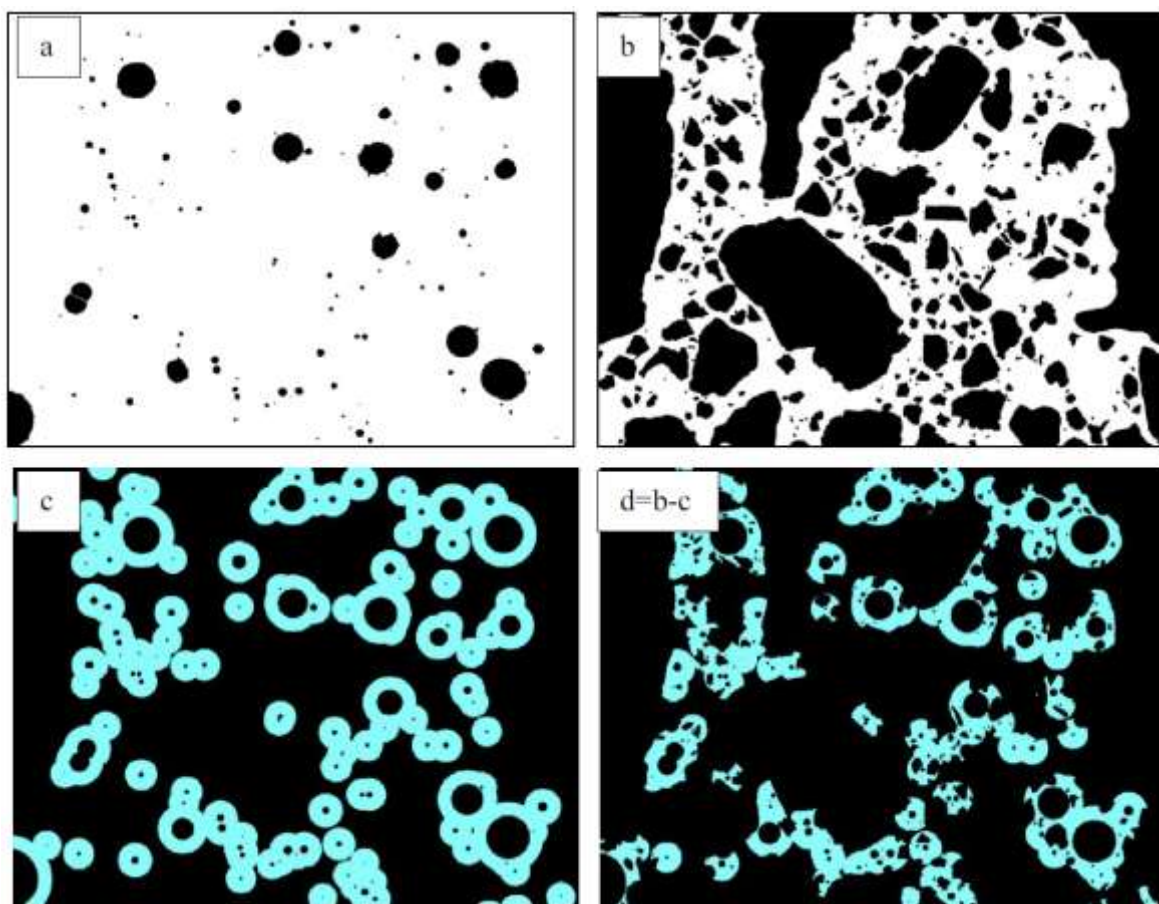
### 3.4.9 PROTECTED PASTE VOLUME

Zmapovat distribuci a rozměry pórů v prostoru ztvrdlého betonu je zatím asi mimo naše schopnosti. Na tělesech připravených dle uvedeného postupu (45) by však bylo možné provést analýzu, která by lépe využila jejich potenciál. Zkoušený povrch by totiž bylo určitě výhodnější snímat jako dvourozměrnou plochu a ne jen jako jednorozměrnou přímku. Získali bychom tak model celé roviny řezu betonu. Vhodné je užití mikroskopu s CCD čipem, který spolu s přesným automaticky posouvaným stolcem a patřičným softwarem dokáže vytvořit snímek s rozlišením až 3,4  $\mu\text{m}/\text{pixel}$ . Problém může nastat při zpracování tak detailních a tedy velkých souborů, kterému lze předejít vhodným zvolením velikosti snímané plochy. (48) Pro tyto účely bylo vyzkoušeno i užití standardního skeneru. (49) (50) Tato metoda je mnohem jednodušší a rychlejší. Slabina takového skeneru je však v rozlišení. Při výzkumu byl použit skener s rozlišením 2400 bodů na palec (DPI), což umožnilo zachytit póry pouze větší než 50  $\mu\text{m}$ . V dnešní době dosahují běžně dostupné zařízení rozlišení 6400 DPI, které sice zatím neumožňují nahradit CCD čipy, ale v blízké době by se jim mohly vyrovnat. Pro lepší zvýraznění vzduchových pórů se při těchto metodách používá fluorescenční prášek, kterým se póry vyplní a vzorek se následně ozařuje ultrafialovým světlem. Získá se tak velice kontrastní snímek, na kterém jsou póry zřetelně odděleny od okolní hmoty. Potřebné však je tuto metodiku standardizovat, aby nedocházelo k ovlivňování výsledků měření proměnlivou přípravou povrchu, případně nejednoznačným rozpoznáváním jednotlivých fází betonu. (48)

Otázkou je, jaký parametr by bylo vhodné z takto získaných snímků vyhodnotit. S využitím dvourozměrné analýzy bychom mohli součinitel prostorového rozložení vzduchových pórů nahradit množstvím chráněného cementového tmelu (protected paste volume – PPV).



OBR. 9. SCHÉMA ROZBORU ZKOUŠENÉ PLOCHY: (A) VZDUCHOVÉ PÓRY; (B) ZRNA KAMENIVA; (C) CELKOVÁ PLOCHA VZORKU (52)



OBR. 10. SCHÉMA VYHODNOCENÍ OBJEMU CHRÁNĚNÉHO CEMENTOVÉHO TMELU: (A) VZDUCHOVÉ PÓRY; (B) ZRNA KAMENIVA; (C) CHRÁNĚNÉ OBLASTI KOLEM VZDUCHOVÝCH PÓRŮ; (D) OBJEM CHRÁNĚNÉHO CEMENTOVÉHO TMELU (52)

Jako chráněný cementový tmel se označuje ten, který je v dostatečné blízkosti vzduchového póru. Tato chráněná oblast se nachází ve vzdálenosti do 0,2 mm od okraje póru. Výslednou hodnotou PPV je potom poměr chráněné oblasti k celkové oblasti cementového tmelu na zkoušeném povrchu. (48) Vedle PPV faktoru jsme schopni zároveň zjistit počet, velikost a distribuci vzduchových

pórů. Na rozdíl od ostatních metod, využívajících statistické odhady průměrných vzdáleností vzduchových pórů, mezi které patří i ten podle ČSN EN 480-11 (45) se zdá, že metoda PPV lépe vystihuje soustavu pórů, cementového tmelu a kameniva v betonu. Přestože se tedy jedná také o povrchové měření, lze PPV faktor označit za věrnější vzhledem k reálnému prostorovému rozložení pórů v betonu. (48)

Na základě numerických modelů a reálných zkoušek betonu bylo zjištěno, že spacing faktor menší než 0,2 mm rozhodně nezajišťuje ochranu 100 % cementového tmelu proti účinkům mrazu. To je v rozporu s principy, na kterých je posuzování spacing faktoru založeno. Při stanovení počtu pórů (tětiv) na měřících přímkách se nezohledňuje, zda jsou póry seskupeny blízko sebe nebo rovnoměrně rozptýleny v cementovém tmelu. Při analýze metodou PPV se do výsledného součinitele významně projeví, jak jsou vzduchové póry rozptýleny, protože velké shluky pórů ochrání mnohem menší množství cementového tmelu než ty správně distribuované. (48)

Při porovnání parametrů struktury vzduchových pórů stanovených lineární nebo plošnou metodou se zkouškou mrazuvzdornosti (3) zatím nejsou jasné všechny souvislosti. Pokud se jedná o kvalitně provzdušněný beton s velmi dobrou mrazuvzdorností nebo naopak o špatně provzdušněný nemrazuvzdorný beton, jsou hodnoty PPV a spacing faktoru srovnatelné a souvislost s výsledky stanovení mrazuvzdornosti je jasná. Problém však nastává, pokud má například beton dostatečný obsah účinného vzduchu, ale ten není správně distribuován nebo došlo k segregaci čerstvého betonu. V současné fázi výzkumu autoři poukazují na lepší korelaci hodnot PPV s výsledky mrazuvzdornosti, než je tomu u standardního spacing faktoru. Pokud je hodnota PPV alespoň 80 %, můžeme beton považovat za mrazuvzdorný. V případě, že je hodnota PPV nižší než 60 %, nelze beton označit jako mrazuvzdorný. Pro tyto konkrétní kritéria zatím nebylo provedeno dostatečné množství zkoušek, tudíž je nutné pokračovat ve výzkumu a studiích, které by měly vést k jejich upřesnění a ověření. (48)

### **3.5 PŘEHLED ZKUŠEBNÍCH METOD POUŽÍVANÝCH V ZAHRANIČÍ**

Je zřejmé, že jen u nás existuje celá řada metod, které využívají cyklické zmrazování a rozmrazování. Ve světě jsou používány podobné principy, ale

samotné zkoušky se liší ve způsobu přípravy zkušebních těles a parametrech jednotlivých cyklů. V případě stejného průběhu zkoušek se navíc můžou lišit závěrečným vyhodnocením. Porovnávání jednotlivých metod a výsledků je tudíž velmi obtížné a neexistuje jedna jediná „správná“ zkušební metoda pro stanovení mrazuvzdornosti. Většinou vznikaly zkušební postupy na základě lokálních požadavků, které závisejí na prostředí, které na beton působí, a tak ani není možné mít jednu obecnou metodu zkoušení. Dobrá zkušební metoda by měla vystavit různé materiály stejnému namáhání a poškození, jaké by způsobilo reálné prostředí. Musí být dostatečně přísná, aby vytřídila betony podřadné kvality, a zároveň nesmí být příliš restriktivní. (51)

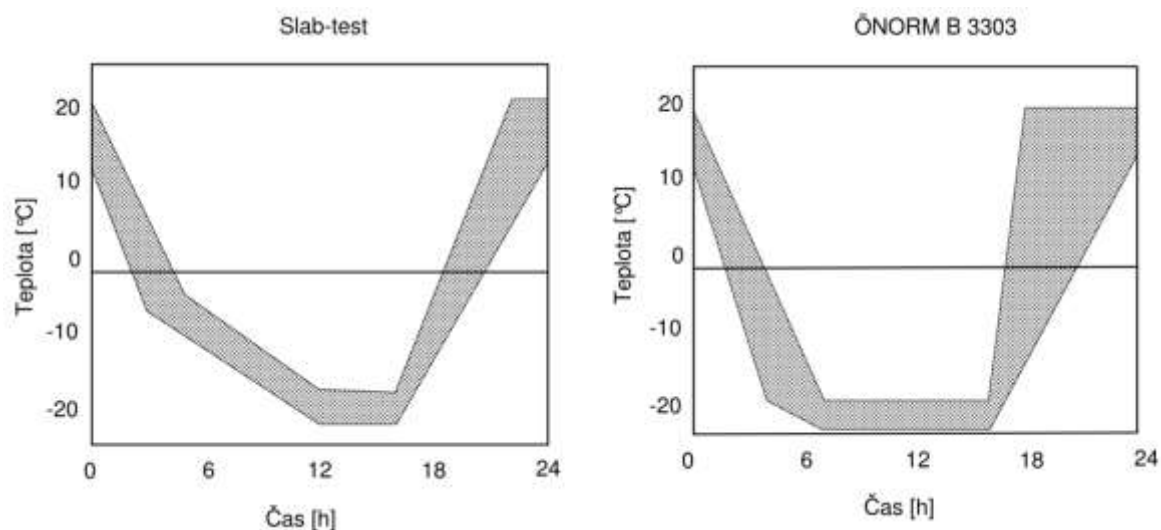
### 3.5.1 EVROPA

V Evropě je standardem pro zjišťování porušení vnitřní struktury vlivem mrazu norma CEN/TR 15177 (35), která popisuje tři metody:

- Slab-test – vychází z dřívější Švédské normy (52)
- CIF-metoda
- Zkouška na trámcích

Převzetí této technické zprávy do národních norem členů CEN/CENELEC není povinné, tudíž nemusí být tato zpráva převzata na národní úrovni jako normativní dokument. Jednotlivé evropské země proto mají nebo měly i vlastní standardy. V Rakousku platila do roku 2010 norma (53) pro zkoušení mrazuvzdornosti podobná Slab-testu. Zkoušený povrch byl ohraničen nepropustnou membránou a byl na něj nalit roztok. Jeden cyklus trval také 24 hodin, jeho průběh se však lišil.



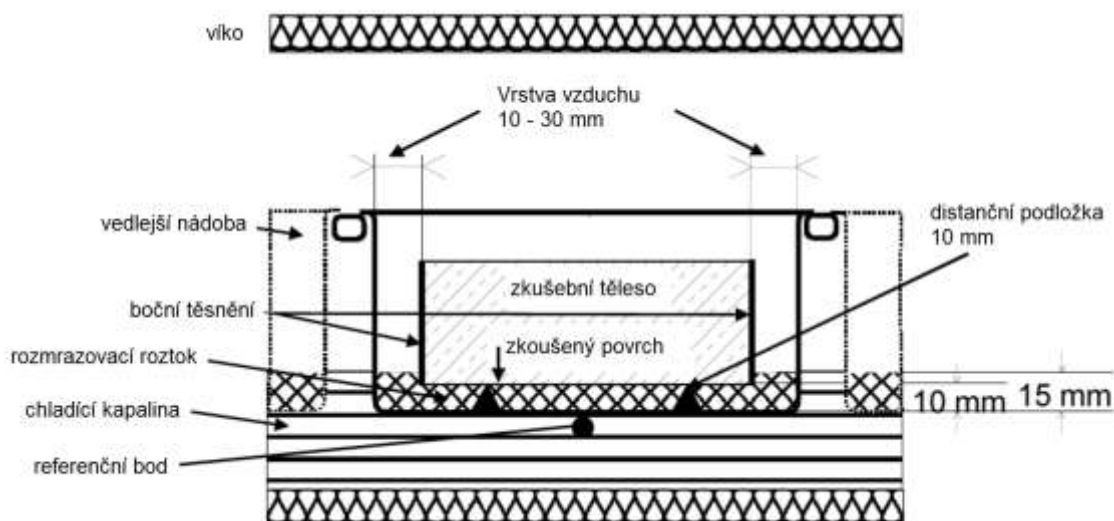


OBR. 11. POROVNÁNÍ PRŮBĚHU ZÁVISLOSTI TEPLoty NA ČASE MEZI ÖNORM A SLAB-TESTEM (58)

Bylo zjištěno, že výsledky zkoušky podle rakouské normy (53) vykazovaly značný rozptyl, zvláště u betonů s horší vodotěsností povrchu (54). Slab test je oproti tomu méně nákladný na vybavení, ale je časově náročný. Pro posouzení konstrukčních betonů neposkytuje dostatečnou přesnost, kterou požaduje ISO 5725 (54).

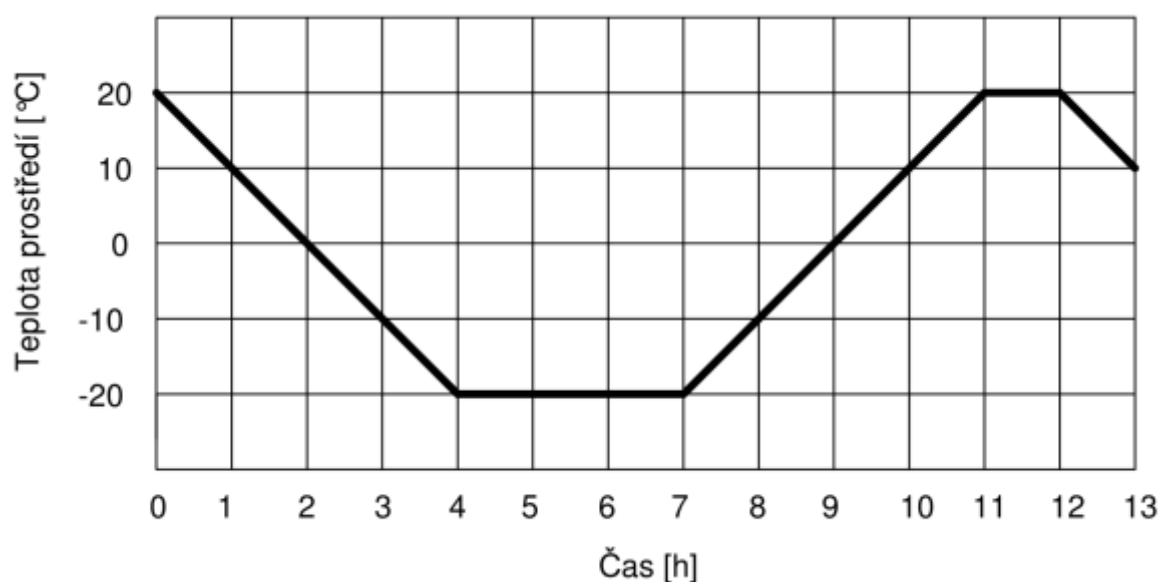
### 3.5.1.1 Německo

V Německu byla vyvinuta metoda RILEM TC 117-FDC/CDF (55), která se od Slab-testu významně odlišuje. Oproti Slab-testu se těleso orientuje zkoušeným povrchem směrem dolů a je jím ponořeno do zmrazovacího roztoku. Využívá se tak vztlínivosti a difuze roztoku soli do zkoušeného vzorku.



OBR. 12. RILEM TC 117-FDC/CDF UMÍSTĚNÍ ZKUŠEBNÍHO TĚLESA PŘI ZKOUŠCE (55)

Zkušební cyklus začíná snižováním teploty z 20 °C na -20 °C rovnoměrně po dobu 4 hodin, které následuje 3 hodiny výdrže při -20°C a poté roste teplota zpět na 20 °C stejným tempem jako při ochlazování. Během zahřívání se při 15 °C ponoří zkušební nádoba do ultrazvukové lázně, za účelem stanovení odpadlých částic. Ty se váží každých 14 cyklů, je však doporučen provádět toto měření při 4 nebo 6 cyklech. Celkové stanovení odpadlých částic se provádí po 28 cyklech a jsou vyjádřeny v g/m<sup>2</sup>. (56)



OBR. 13. RILEM TC 117-FDC/CDF PRŮBĚH ZÁVISLOSTI TEPLoty NA ČASE (55)

Vzhledem k preciznímu definování průběhu celé zkoušky a použití ultrazvuku pro přesné stanovení odpadlých částic má tato metoda nejlepší předpoklad pro reprodukovatelnost a opakovatelnost výsledků ze všech zmíněných. (56)

#### 3.5.1.2 Finsko

Ve Finsku platila národní norma (57) pro zkoušení mrazuvzdornosti na trámcích o rozměru 500x100x100 mm<sup>3</sup>. Zmrazování probíhalo za sucha při teplotě -20 °C a rozmrazování ve vodě do teploty 20 °C. Počet cyklů se pohyboval v intervalu 100 – 300. Vyhodnocení vycházelo z podílu dynamických modulů pružnosti stanovených ultrazvukem ( $\geq 75$  %) nebo pevností v tahu ohybem ( $\geq 67$  %). V rámci normy byl i odkaz na alternativní metodu Slab-test a na analýzu vzduchových pórů (spacing faktor).

#### 3.5.1.3 Litva

Dalším příkladem může být Litva, která má národní normu (19) pro zkoušení mrazuvzdornosti podobnou Slab-testu. Zkušební těleso je opatřeno po obvodu gumovým těsněním, a shora je na zkoušený povrch nalit rozmrazovací roztok. Cyklus trvá 24 hodin, odpadlý materiál je odebírán po každých 7 cyklech a ve stejných intervalech se provádí měření dynamického modulu pružnosti ultrazvukem. (20) Francouzská norma (58) ze Slab-testu také vychází.

### 3.5.2 SEVERNÍ AMERIKA

Významnou normou v celosvětovém měřítku je ASTM C666/ C666M (59) běžně používaná v Severní Americe. Jedná se o zrychlenou zkoušku mrazuvzdornosti na trámcích. Délka cyklů není přesně definovaná, ale pohybuje se v rozmezí 2 – 5 hodin. Teplota se pohybuje od 4 °C do -18 °C. V průběhu cyklování se sleduje změna dynamického modulu pružnosti ultrazvukem. Zkouška končí dosažením 300 cyklů, nebo pokud hodnota dynamického modulu pružnosti klesne na méně než 60 % původní hodnoty. Tento postup byl kritizován, protože nevystihuje dobře reálné podmínky (51). Navíc tato metoda nebyla přijata jako oficiální zkušební postup asociací CEN.

Vedle zrychlené zkoušky mrazuvzdornosti se používá ASTM C672 (60) pro stanovení odolnosti proti mrazu a chemickým rozmrazovacím látkám. Zkušební postup vychází ze Slab-testu, ale má drobné odlišnosti. Hladina roztoku není

během zkoušky překryta fólií a vypařování roztoku je kompenzováno doplňováním vody pro udržení hladiny 6 mm (56). Americká norma se od ostatních liší také použitým typem soli, a to  $\text{CaCl}_2$  v 4% koncentraci. Nevýhodou této soli v porovnání s  $\text{NaCl}$  je její horší disociace a navíc fakt, že pro posypové soli se používá ve většině případů  $\text{NaCl}$ . Koncentrace  $\text{CaCl}_2$  je vyšší z důvodu jiné rozpustnosti této látky. Teplotní průběh cyklů je identický se Slab-testem. Není však vyžadováno měření teploty vzorků v průběhu zkoušky, jako je tomu u Slab-testu nebo u metody CDF, což může vést k většímu rozptylu výsledků (56). Počet cyklů je ovšem zkrácen na 50 a výsledky jsou zaznamenávány průběžně nejdříve každých 5 cyklů do 25 cyklů a pak už jen po ukončení zkoušky. Podstatným je způsob vyhodnocování. Zkoušený povrch se hodnotí pouze vizuálně a podle stupně poškození je zařazen do jedné z šesti kategorií.

Je tedy zřejmé, že ASTM C672 má značné množství nesrovnalostí a slabin. Proto se zabývá ASTM (americká společnost pro zkušebnictví) vývojem nové metody. Ta má zatím označení ASTM WK 9367 (56) a vychází z Kanadského zkušebního postupu (61).

V Kanadě se používají zkušební metody předepsané jednotlivými provinciemi. V provincii Ontario předepisuje ministerstvo dopravy postup MTO LS-412 (62), který se podobá ASTM C672. Používá se však 3% roztok  $\text{NaCl}$ . V průběhu zkoušky leží tělesa na dřevěných hranolech, aby se umožnila cirkulace kolem vzorků a dosáhlo se tak rovnoměrnější distribuce teploty. Vyhovující beton má ztrátu hmotnosti (odpad) menší než  $0,8 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$  po 50 cyklech. (56)



OBR. 14. MTO LS-412 UMÍSTĚNÍ ZKUŠEBNÍHO TĚLESA PŘI ZKOUŠCE (62)

V provincii Québec platí BNQ NQ 2621-900 (61). Zkoušený povrch musí být v rámci této zkoušky zakryt vodotěsnou membránou, aby se zabránilo vypařování roztoku. V průběhu zkoušky je neustále zaznamenávána teplota roztoku i povrchu zkušebních těles. Úbytek hmotnosti se měří po 7, 21, 35 a 56 cyklech. Limit ztráty hmotnosti je  $0,5 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$  po 56 cyklech. (56)

## 4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Tato část práce se věnuje praktickému ověření vlivu vstupních surovin zejména na mrazuvzdornost betonu. Výzkum byl iniciován zavedením požadavků na stupeň mrazuvzdornosti (3) v české doplňující normě ČSN P 73 2404 (63), která upřesňuje použití ČSN EN 206 (1) v České republice. Výběr kameniva byl navíc přizpůsoben technickým podmínkám ministerstva dopravy (15) pro vyloučení alkalické reakce kameniva v betonu na stavbách pozemních komunikací. Použité suroviny byly zvoleny s ohledem na jejich lokální dostupnost a použitelnost v Moravskoslezském kraji. Cílem práce bylo vybrat vhodnou recepturu pro výrobu betonu pro stupeň vlivu prostředí XF3.

Přípravu surovin, výrobu betonu, zkušebních těles a jejich ošetřování jsem prováděl osobně ve spolupráci s laboratoří BETOTECH, s.r.o., kde probíhala i část zkoušek. Dále se na zkouškách podílela zkušební laboratoř při ÚTHD stavební fakulty VUT v Brně, laboratoř stavební fakulty VŠB-TU Ostrava, STAPPA mix Brno, spol. s r.o. a Sika CZ, s.r.o.

## 4.1 POUŽITÉ SUROVINY

### 4.1.1 KAMENIVO

Volba kameniva vycházela z možností běžně dostupných v Moravskoslezském kraji s ohledem na TP 137 (15). Stupni vlivu prostředí XF3 odpovídá v těchto technických podmínkách uvedená kategorie E3. U kameniva se hodnotí rizikovost z hlediska jeho reaktivnosti s alkáliemi pomocí dilatometrické zkoušky. Ta se provádí podle ASTM C-1260-14 (64) nebo ČSN 72 1179 (65), které jsou upravené podle přílohy těchto technických podmínek. Pro prostředí E3 lze použít kamenivo s nízkou nebo střední rizikovostí v souladu s daným nejvyšším přípustným množstvím alkálií ( $\text{Na}_2\text{O eq.}$ ) v betonu (15).

S ohledem na tyto skutečnosti se jako nejvhodnější kamenivo považuje těžený štěrkopísek ze štěrkopískovny v Mankovicích. Lokalita se nachází pod Oderskými vrchy, několik set metrů od řeky Odry. Jedná se tedy o moravskou drobu splavenou z oblasti horního toku řeky. V kamenivu najdeme převážně různé typy kulmských hornin, nejvíce slepence, dále břidlice a v malém množství také křemen a vulkanity. Kamenivo je těženo z vody a tříděno do frakcí 0/4, 4/8, 8/16 a 11/22 a poskytuje tak kompletní řadu frakcí potřebnou pro návrh betonu.

V hrubých frakcích se vyskytují plochá nebo válcovitá podlouhlá zrna, která mají vysoký tvarový index. Frakce 8/16 má tvarový index dle ČSN EN 933-4 (66) 34 % hm. a frakce 11/22 dokonce 40 % hm. Frakce 0/4 obsahuje velké množství jemných podílů, což má za následek větší měrný povrch a tedy i potřebu vody.

### 4.1.2 CEMENT

Pro výrobu betonu byl použit volně ložený cement odebraný z cisterny, aby byly jeho vlastnosti konstantní a neovlivňovaly tak výsledky zkoušek. Jednalo se o cement CEM I 42,5 R z Hranic.

### 4.1.3 PŘÍSADY

Plastifikační přísadu MasterGlenium SKY 980, která byla použita pro všechny betony, dodala BASF spol. s r.o. Konkrétně se jednalo o novou přísadu na bázi polykarboxylátetheru, vyvinutou právě pro kamenivo z Mankovic. Je u ní kladen důraz na udržení požadované konzistence i přes vysoký měrný povrch jemného kameniva.

Pro receptury s předepsaným obsahem vzduchu byla zvolena přísada MasterAir 214 od stejného výrobce.

Specifickým druhem přísady, která je alternativou ke klasické provzdušňující přísadě byl MasterAir 150 MHK. Jedná se o prefabrikované elastické duté mikrokuličky, které lze použít pro zvýšení odolnosti proti mrazu a CHRL i v případě, kdy podmínky nedovolí použít provzdušňující přísadu. Pomocí této přísady zajistíme v betonu soustavu vzduchových pórů předem známého průměru. Tyto vzduchové póry není možné určit pomocí stanovení obsahu vzduchu v čerstvém betonu tlakovou metodou (44). Příklad se dává s kamenivem.

#### **4.1.4 PŘÍMĚSI**

Stěžejním složkou betonu v rámci tohoto experimentu byly příměsi (typ II). Vedle provzdušnění totiž byly příměsi jedinou variabilní složkou receptury. Cílem použití příměsi bylo snížit množství cementu až k minimálním hodnotám, které dovoluje norma a posoudit tak, zda je možné tímto způsobem snížit náklady na výrobu s dodržením požadované kvality betonu. Snaha byla vybrat příměsi, které jsou běžně dostupné v dané lokalitě.

Konkrétně se jednalo o černouhelný popílek z Dětmrovické elektrárny, mletou granulovanou vysokopeční strusku z Kotouče Štramberk a mikrosiliku SikaFume Füller CZ.

## **4.2 NÁVRH RECEPTUR**

S použitím výše uvedených surovin byly navrženy receptury betonu C 30/37 XF3 S3. Referenční beton obsahoval  $370 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  cementu. Vodní součinitel byl počítán s použitím k-hodnoty a se zahrnutím nasákavosti kameniva tak, aby dosáhl hodnoty 0,5, kterou dovoluje norma (1). Použitá superplastifikační přísada MasterGlenium SKY 980 má doporučené dávkování 0,2 – 3 % hmotnosti cementu. Jejím účelem bylo dodržení předepsané konzistence čerstvého betonu při dané konzistenci, proto byla její dávka přizpůsobena jednotlivým recepturám. Pohybovala se v rozmezí od 1 do 1,7 %. Dávka provzdušňující přísady byla zvolena na základě zkušebních záměsů tak, aby bylo dosaženo předepsaného obsahu vzduchu v čerstvém betonu.



TAB. 1. SLOŽENÍ RECEPTUR

označení	REF 5% [kg]	REF 7% [kg]	POP 4% [kg]	STR 4% [kg]	MS [kg]	MS 5% [kg]	MA [kg]
CEM I 42,5R Hranice	370	370	320	320	320	320	370
voda	182	186	174	174	180	176	182
vodní součinitel	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Popílek Dětmarovice	-	-	50	-	-	-	-
Struska Štramperk	-	-	-	30	-	-	-
Mikrosilika SikaFume	-	-	-	-	20	20	-
0/4 Mankovice	777	741	803	810	845	821	777
4/8 Mankovice	141	134	142	144	150	145	141
8/16 Mankovice	454	433	459	463	483	469	454
11/22 Mankovice	380	352	356	359	375	364	380
MasterGlenium 980	4,4	3,8	4,6	4,6	4,8	4,8	6,3
MasterAir 214	0,7	0,9	0,7	0,7	-	0,7	-
MasterAir 150 MHK	-	-	-	-	-	-	2,1

### 4.3 VÝROBA BETONU A ZKUŠEBNÍCH TĚLES

Vysušení kameniva, příprava surovin a výroba betonu pro zkušební tělesa probíhala v laboratoři BETOTECH, s.r.o. Harmonogram výroby byl optimalizován s ohledem na množství potřebných těles a na organizaci následných zkoušek. Pro výrobu zkušebních těles bylo potřeba 150 dm<sup>3</sup> betonu pro každou recepturu. Z důvodu kapacity míchačky byl tento objem rozdělen do tří záměsů po 50 dm<sup>3</sup>. U každé záměsi byla stanovena konzistence čerstvého betonu sednutím kužele dle ČSN EN 12350-2 (67), objemová hmotnost dle ČSN EN 12350-6 (68) a obsah vzduchu v čerstvém betonu dle ČSN EN 12350-7 (44).

TAB. 2. PARAMETRY ČERSTVÉHO BETONU

	REF 5%	REF 7%	POP 4%	STR 4%	MS	MS 5%	MA
Konzistence sednutím [mm]	140	150	130	130	130	130	130
Stupeň konzistence [-]	S3	S3	S3	S3	S3	S3	S3
Obsah vzduchu [%]	5,1%	6,8%	3,8%	4,1%	1,4%	5,2%	1,6%
D <sub>čb</sub> [kg·m <sup>-3</sup> ]	2 290	2 260	2 330	2 330	2 380	2 230	2 380

Z parametrů čerstvého betonu je patrné, že beton splňuje navrhované požadavky. Konzistence čerstvého betonu byla v intervalu 130-150 mm sednutí kužele, což odpovídá stupni konzistence S3. Obsah vzduchu v čerstvém betonu odpovídá navrhovaným hodnotám. Je patrné, že při použití přísady MasterAir 150 MHK nelze tento vzduch obsažený v čerstvém betonu stanovit tlakovou metodou a beton se chová jako neprovzdušněný. Využití AVA pro stanovení parametrů vzduchu v čerstvém betonu s touto přísadou zatím nebylo ověřeno. Objemová hmotnost čerstvého betonu odpovídá procentu obsaženého vzduchu a konkrétním recepturám.

Z každé záměsi byl vyroben stejný počet těles. Pro potřeby předepsaných zkoušek tak byla vyrobena pro každou recepturu sada těles, čítající 24 krychlí o hraně 150 mm a 12 trámců 100 x 100 x 400 mm<sup>3</sup>. Po odformování byla tělesa, v závislosti na zkoušce, pro kterou byla vyrobena, uložena v normou předepsaných podmínkách.

#### 4.4 PROVÁDĚNÉ ZKOUŠKY A NAMĚŘENÉ HODNOTY

Předmětem experimentální části bylo mimo jiné ověřit možnosti využití nasákavosti a vodotěsnosti pro prognózování trvanlivosti betonu v prostředí XF. Z důvodu použití příměsí byly zkoušky prováděny po 28 a 90 dnech, aby byl zaznamenán vývoj parametrů z dlouhodobějšího hlediska. Nasákavost byla stanovena podle normy (69), která byla u nás sice zrušena, ale na Slovensku je stále platnou. Hloubka průsaku tlakovou vodou byla zkoušena klasicky (70). U ztvrdlého betonu byla také zjištěna jeho objemová hmotnost (71) a pevnost v tlaku (72).

TAB. 3. VLASTNOSTI ZTVRDLÉHO BETONU

označení		REF 5%	REF 7%	POP 4%	STR 4%	MS	MS 5%	MA
$D_{ZB} [kg \cdot m^{-3}]$		2 250	2 210	2 300	2 310	2 350	2 200	2 370
$v$ [%]	28D	2,46	3,09	2,32	2,82	2,15	2,57	2,51
	90D	2,75	3,25	2,22	2,58	2,00	2,69	2,48
$v_5$ [mm]	28D	15	18	16	17	22	13	27
	90D	14	16	9	13	12	11	14
$f_{c,cube}$ [N·mm <sup>-2</sup> ]	28D	39,1	31,0	42,1	41,2	50,3	33,4	47,8
	90D	42,1	38,3	44,2	42,8	55,7	38,9	50,7

Nasákavost byla zaokrouhlena na 3 platné číslice z důvodu malého intervalu rozptylu mezi jednotlivými betony.

Maximální průsak vody (70) byl stanoven také z důvodu požadavku normy (1) pro mezní hodnoty vlastností betonu. Pro předpokládanou životnost 50 let je maximální přípustná hodnota v prostředí XF3 35 mm a pro životnost konstrukce 100 let 20 mm.

Aktuální norma ČSN P 73 2404 (65) sice nepředepisuje stanovení odolnosti proti mrazu a CHRL pro stupeň vlivu prostředí XF3. V minulosti se však právě tato zkouška používala místo stanovení mrazuvzdornosti (3). Proto byla zařazena do vyhodnocení tohoto experimentu a to zejména z důvodu porovnání výsledků právě těchto dvou zkoušek. Povrchová odolnost betonu proti působení mrazu CHRL byla stanovena podle ČSN 73 1326 (2) zkušební metodou A, tedy na krychlích po 28 a 90 dnech stáří betonu.

TAB. 4. HMOTNOST ODPADU PO CYKLECH VE STÁŘÍ BETONU 28 DNŮ

označení		REF 5%	REF 7%	POP 4%	STR 4%	MS	MS 5%	MA
Odpad $\rho_a$ po cyklech [g·m <sup>-2</sup> ]	25	68,3	141,2	75,5	1001,9	638,3	161,3	232,7
	50	90,5	276,4	124,3	1554,1	2329,3	504,4	483,5
	75	121,7	517,1	170,2	2864,8	3493,6	643,5	851,3
	100	136,5	630,0	229,4	4159,2	4205,1	711,5	1097,6

TAB. 5. HMOTNOST ODPADU PO CYKLECH VE STÁŘÍ BETONU 90 DNŮ

označení		REF 5%	REF 7%	POP 4%	STR 4%	MS	MS 5%	MA
Odpad $\rho_a$ po cyklech [g·m <sup>-2</sup> ]	25	28,3	296,9	123,2	103,9	16,3	218,9	77,1
	50	44,7	607,2	231,5	252,2	297,7	437,8	78,3
	75	120,6	625,1	342,8	425,7	585,0	583,6	192,2
	100	159,3	732,5	457,1	738,6	958,3	716,1	406,2

Při navrhování betonu pro stupeň vlivu prostředí XF3 je však podle aktuální doplňující normy ČSN P 73 2404 (2) stěžejní požadavek na mrazuvzdornost dle ČSN 73 1322 (4). V rámci tohoto projektu byla mrazuvzdornost betonu stanovena

podle této normy, a to po 100 cyklech a ve 28 a 90 dnech stáří betonu. Aby bylo možné porovnat a vyhodnotit účinky mrazu na pevnost v tlaku, byla její hodnota stanovena na úlomcích trámčů po zkoušce v tahu za ohybu (75). Indexu mrazuvzdornosti stanovený z pevnosti v tlaku byl použit například v projektu VUSTAH (38).

TAB. 6. HODNOTY MRAZUVZDORNOSTI PO 28 DNECH

označení		REF 5%	REF 7%	POP 4%	STR 4%	MS	MS 5%	MA
$f_{c,f}$ [N·mm <sup>-2</sup> ]	ref	5,3	5,3	5,8	5,3	7,1	5,9	6,0
	mraz	4,4	4,3	5,4	5,4	0,3	4,8	5,5
$f_{c,cube}$ [N·mm <sup>-2</sup> ]	ref	39,7	34,7	45,5	34,7	57,3	38,9	52,8
	mraz	40,4	37,9	50,1	43,8	28,5	37,3	55,7
součinitel mrazuvzdornosti z pevnosti v tahu za ohybu		0,83	0,81	0,93	1,02	0,04	0,81	0,92
index mrazuvzdornosti z pevnosti v tlaku		1,02	1,09	1,10	1,26	0,50	0,96	1,05

TAB. 7. HODNOTY MRAZUVZDORNOSTI PO 90 DNECH

označení		REF 5%	REF 7%	POP 4%	STR 4%	MS	MS 5%	MA
$f_{c,f}$ [N·mm <sup>-2</sup> ]	ref	6,0	5,0	5,6	5,3	7,0	5,5	5,8
	mraz	5,0	4,1	5,3	5,6	4,7	4,5	5,4
$f_{c,cube}$ [N·mm <sup>-2</sup> ]	ref	37,8	33,3	45,1	42,7	54,2	40,0	46,8
	mraz	44,9	41,0	52,0	50,0	55,8	41,2	58,2
součinitel mrazuvzdornosti z pevnosti v tahu za ohybu		0,83	0,82	0,95	1,06	0,67	0,82	0,93
index mrazuvzdornosti z pevnosti v tlaku		1,19	1,23	1,15	1,17	1,03	1,03	1,24

Nad rámec stanoveného postupu, který vyžaduje česká norma (4) byl v průběhu zkoušky po 90 dnech stanovován dynamický modul pružnosti ultrazvukovou impulsovou metodou (41). Měření proběhlo před začátkem zkoušky a pak opakovaně v intervalu 25 cyklů. Z doby průchodu ultrazvukových vln betonem dokážeme nedestruktivně odhalit porušení vnitřní struktury, ke kterému může docházet v průběhu zkoušky mrazuvzdornosti. Získáme tak přesnější představu o chování zkušebních těles v prostředí cyklického zmrazování v čase, protože součinitel mrazuvzdornosti porovnává pouze stav před a po zatížení, nikoli však v průběhu.

TAB. 8. HODNOTY DYNAMICKÝCH MODULŮ PRUŽNOSTI BETONU V PRŮBĚHU ZKOUŠKY MRAZUVZDORNOSTI PO 90 DNECH

označení		REF 5%	REF 7%	POP 4%	STR 4%	MS	MS 5%	MA
Dynamický modul pružnosti $E_{bu}$ [GPa] po daném počtu cyklů	0	38,7	38,7	43,1	42,0	43,4	37,4	45,5
	25	38,5	37,9	42,6	41,4	43,7	36,3	44,6
	50	38,0	36,9	41,6	40,5	42,7	35,5	44,0
	75	37,9	36,8	41,2	40,1	38,6	35,5	43,7
	100	37,7	36,4	40,6	39,8	34,8	35,3	43,2
Pokles dynamického modulu pružnosti po 100 cyklech [%]		2,6	6,1	5,8	5,4	19,8	5,7	5,0

Při pravidelném měření dynamických modulů pružnosti byla sledována i hmotnost zkušebních těles v průběhu zkoušky, z důvodu zaznamenání úbytku hmotnosti. Ve všech případech se však rozdíly pohybovaly maximálně v řádu setin procent, a tedy pod hranicí měřitelnosti z důvodu nejistoty měření. Proto nemá význam v tomto experimentu vyhodnocovat a porovnávat úbytek hmotnosti v průběhu zkoušky mrazuvzdornosti.

Pro přesnější charakteristiku pórové struktury byla provedena zkouška dle ASTM C457 (75). Aktuální doplňková norma (2) požaduje tyto hodnoty stanovovat dle ČSN EN 480-11 (48), ale v tomto předpisu jsou drobné nedostatky, které vedou ke zkreslení vyhodnocení. Proto byla zvolena pro vyhodnocení americká norma, která poskytuje přesnější a ucelenější výsledky. Pro prostředí XF3 jsou mezní hodnoty pro předpokládanou životnost 100 let následující:

- Minimální obsah mikropórů  $A_{300}$ : 1,0 %
- Maximální součinitel rozložení vzduchových pórů L: 0,24 mm

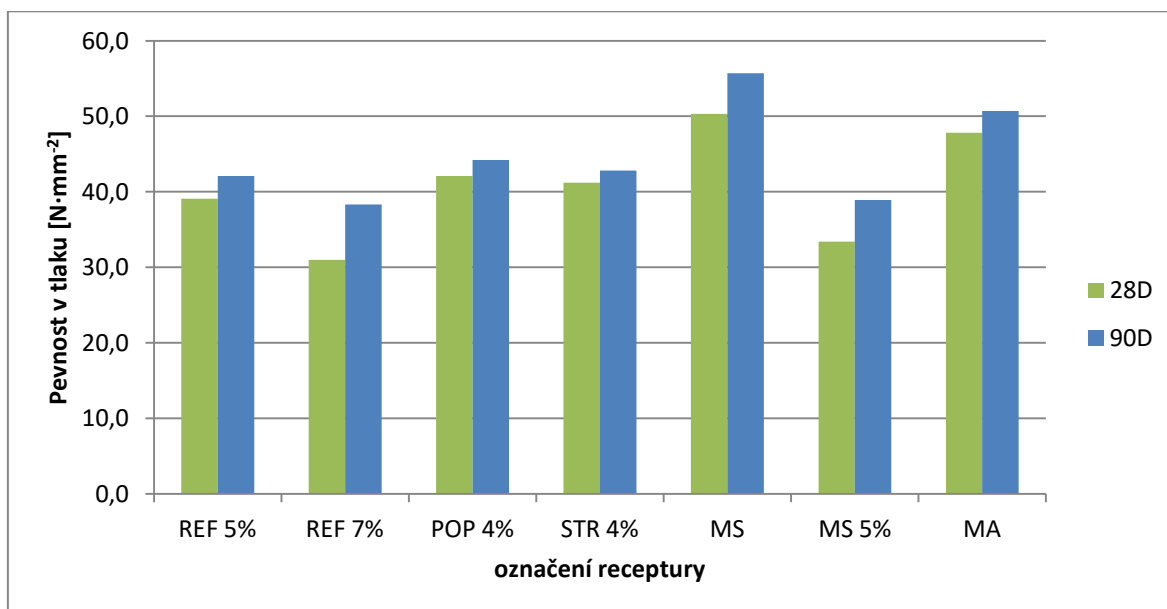
TAB. 9. PARAMETRY STRUKTURY VZDUCHOVÝCH PÓRŮ VE ZTVRDLÉM BETONU

označení	REF 5%	REF 7%	POP 4%	STR 4%	MS	MS 5%	MA
celkový obsah vzduchu ve ztvrdlém betonu [%]	5,72	6,21	2,64	7,29	2,20	4,41	2,38
měrný povrch vzduchových pórů $\alpha$ [mm <sup>-1</sup> ]	25,92	43,33	32,50	30,20	44,70	27,31	23,30
obsah mikroskopických vzduchových pórů $A_{300}$ [%]	2,78	4,18	1,51	4,19	0,95	2,58	0,91
součinitel prostorového rozložení vzduchových pórů L (spacing factor) [mm]	0,183	0,105	0,207	0,136	0,163	0,195	0,302

## 4.5 VYHODNOCENÍ PARAMETRŮ ZTVRDLÉHO BETONU

### 4.5.1 PEVNOST V TLAKU

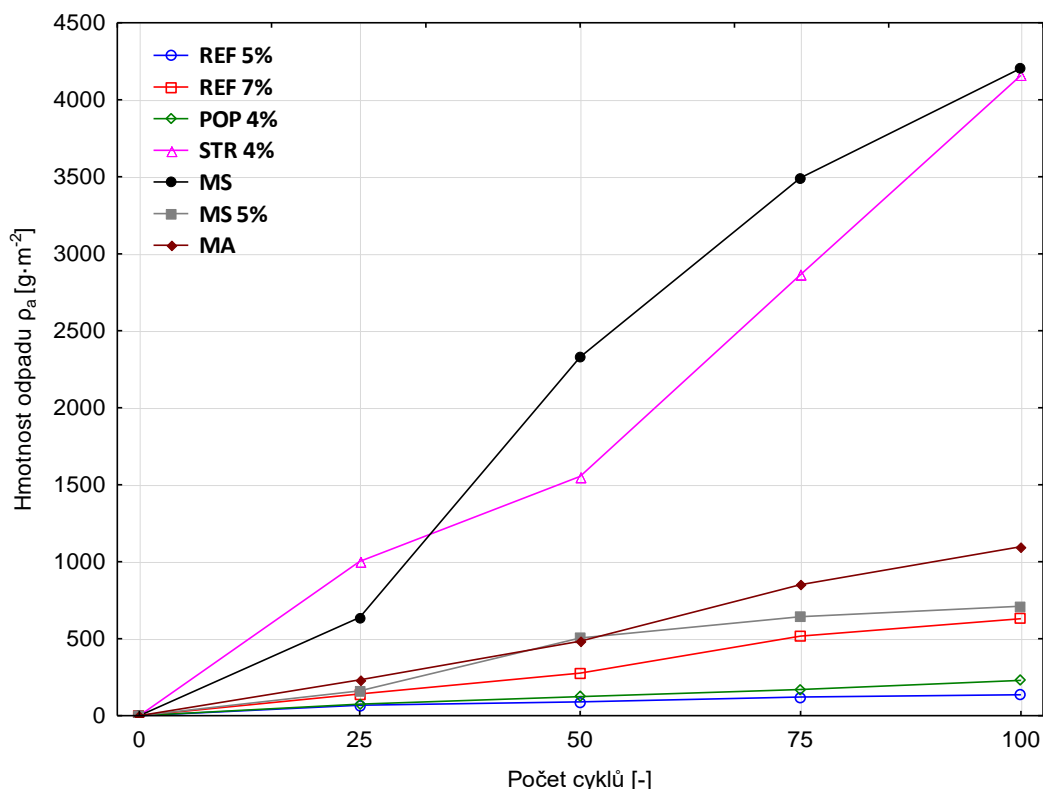
Stanovení pevnosti v tlaku sloužilo pro ověření, zda beton spadá do navrhované pevnostní třídy. Je patrné, že referenční beton s 5 % obsahu vzduchu má po 28 dnech zrání  $39,1 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$ , což pro bezpečné zařazení do této pevnostní třídy nestačí. Dostatečných pevností dosahuje až po 90 dnech. Při obsahu vzduchu 7 % pevnost logicky klesá. Nahrazením 50 kg cementu popílkem se docílilo zvýšení pevností po 28 dnech na  $42,1 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$ . Podobně tomu bylo i při použití 30 kg vysokopecní strusky místo 50 kg cementu. Rozdíl však neplyne jen z použitého pojiva, ale i z vyššího obsahu vzduchu v čerstvém betonu. V případě betonu s příměsí mikrosiliky bez provzdušnění se dostáváme na  $50 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$  po 28 dnech ovšem při provzdušnění tohoto betonu dojde k výraznému poklesu o více než  $15 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$ . Provzdušněná receptura s mikrosilikou sloužila jen pro doplnění spektra možností, ale v praxi výhodná není. Při použití příměsi MasterAir 150 MHK získáme hutný beton, čemuž odpovídají také vyšší pevnosti  $47,8 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$  po 28 dnech. Lze tedy říci, že mimo nestandardní receptury REF 7% a MS 5% se podařilo vyrobit beton odpovídající navrhované pevnostní třídě.



OBR. 15. POROVNÁNÍ PEVNOSTI V TLAKU PO 28 A 90 DNECH

#### 4.5.2 ODOLNOST PROTI PŮSOBENÍ MRAZU A CHRL

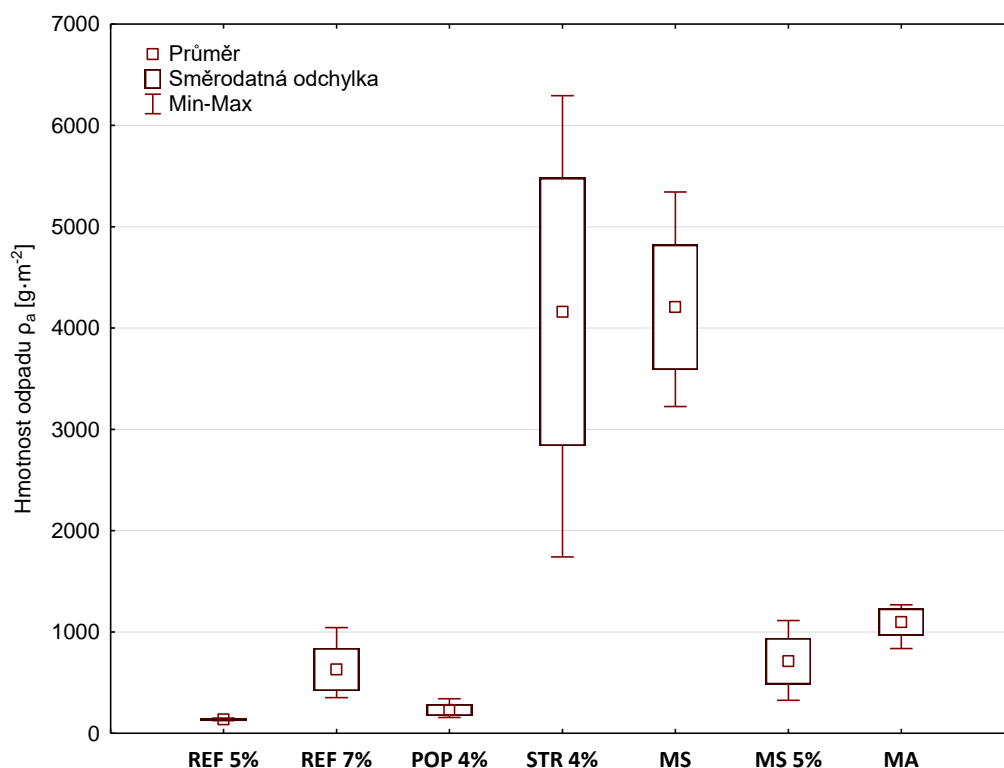
Při vyhodnocení odolnosti betonu proti působení mrazu a CHRL se vycházelo z původního maximálního dovoleného množství odpadu, který předepisovala ČSN EN 206 do roku 2014. Tato hodnota byla při stanovení metodou A po 100 cyklech  $1250 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$ .



OBR. 16. POVRCHOVÁ ODOLNOST BETONU PO 28 DNECH

S grafického vyhodnocení průběhu zkoušky (Obr. 16) je patrné, že po 28 dnech dosahují nejvyšší povrchové odolnosti receptury REF 5% ( $159,3 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ ) a POP 4% ( $229,4 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ ). Naopak receptury MS a STR 4% překročily povolenou hodnotu už po 50 cyklech a po 100 cyklech dokonce přesáhly hranici  $4000 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ . V případě receptury MS lze tuto skutečnost vysvětlit nízkým množstvím cementu a mikrosiliky z důvodu zachování srovnatelných nákladů na výrobu jednotlivých receptur. Z toho vyplývá, že v případě receptury MS 5% má provzdušnění majoritní vliv na odolnost betonu proti působení CHRL a mikrosilika je v takovémto množství patrně zbytečná. U druhé nevyhovující receptury STR 4% po 28 dnech pravděpodobně ještě nedošlo k dostatečné reakci strusky, která by utěsnila strukturu betonu. Struska má také oproti popílku zrna nepravidelného tvaru, což je způsobeno jejím mletím a může tak mít negativní vliv na obsah mikroskopického

vzduchu. Navíc, jak je patrné z krabicového grafu (Obr. 17), došlo v tomto případě měření k velkému rozptylu naměřených hodnot, který není u tohoto zkušebního postupu ničím mimořádným (45).

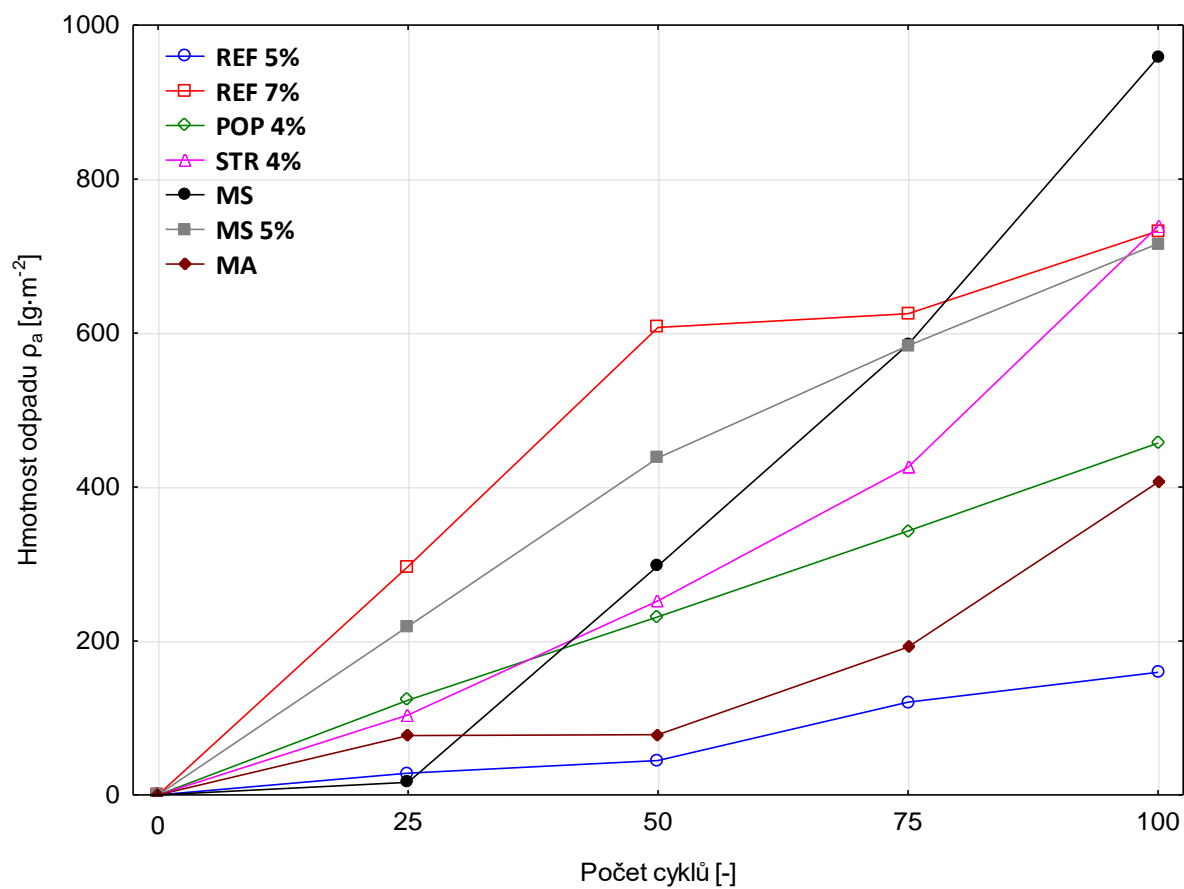


OBR. 17. POVRCHOVÁ ODOLNOST BETONU PO 28 DNECH A 100 CYKLECH

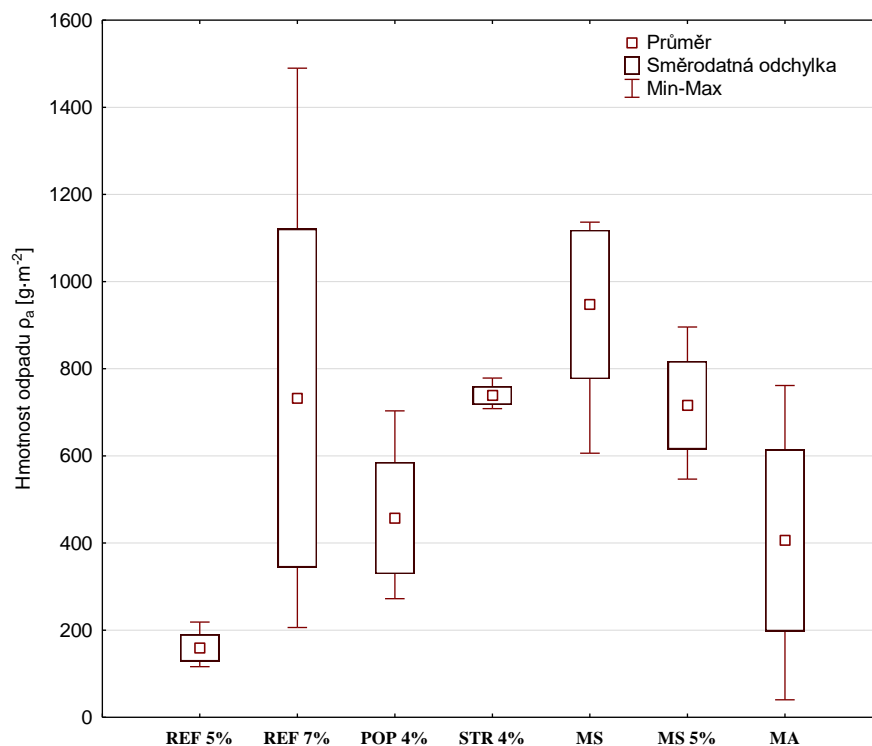
Při prvním pohledu na vyhodnocení odolnosti proti mrazu a CHRL po 90 dnech (Obr. 18.) je vidět, že u žádné receptury nepřekročilo množství odpadu  $1000 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ . Je však důležité sledovat nejen konečnou hodnotu po 100 cyklech, ale také směrnici lomené čáry vyjadřující dynamiku průběhu měřeného parametru a hodnoty rozptylu naměřených hodnot. Z pohledu směrnice čáry a celkového množství odpadu se jako nejvhodnější jeví receptury REF 5% a POP 4%. Naopak u receptury MS, STR 4% a MA je směrnice v poslední fázi lomené čáry velká a naznačuje další růst množství odpadlých částic při případném pokračujícím průběhu zkoušky. U receptury STR 4% je vidět značné zvýšení odolnosti po 90 dnech oproti té po 28 dnech, které s největší pravděpodobností způsobila latentní hydraulická struska, která dodala betonu dostačující pevnost a těsnost. Z krabicového grafu je vidět opět velký rozptyl hodnot, tentokrát u receptury REF 7% a MA. V případě použití přísady MasterAir 150 MHK jsou tyto rozptyly v praxi časté a stále se pracuje na jejím vývoji z důvodu jejího potenciálu. Z pohledu referenčních receptur a odolnosti proti CHRL se jeví vyšší hodnota obsahu



vzduchu jako nevýhodná, protože způsobuje větší množství odpadlých částic a navíc snižuje pevnost v tlaku.



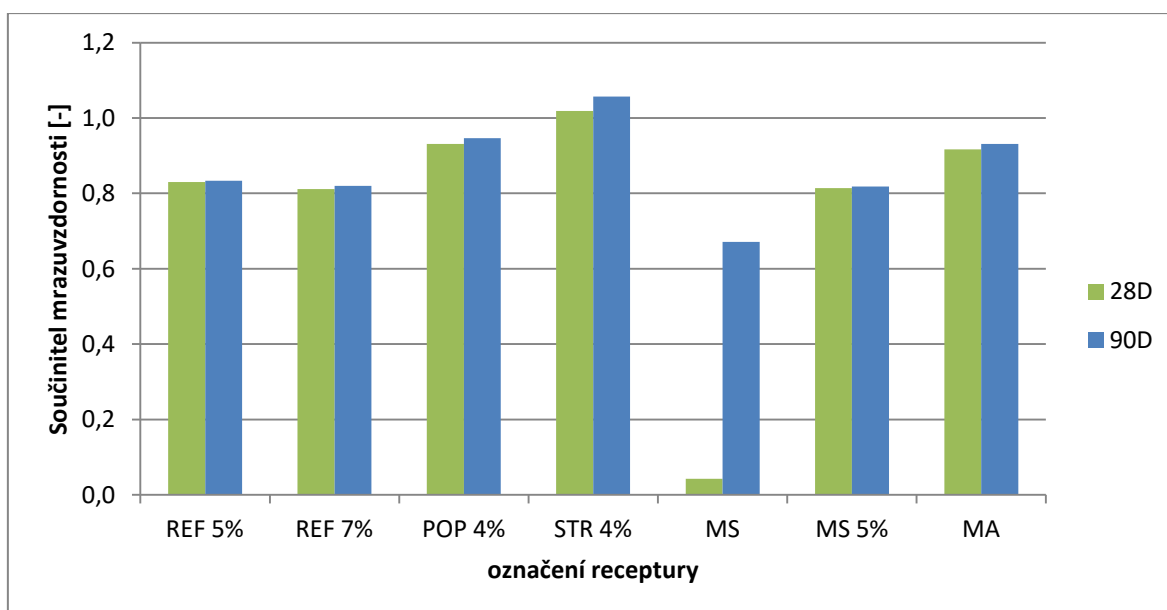
OBR. 18. POVRCHOVÁ ODOLNOST BETONU PO 90 DNECH



OBR. 19. POVRCHOVÁ ODOLNOST BETONU PO 90 DNECH A 100 CYKLECH

#### 4.5.3 MRAZUVZDORNOST BETONU

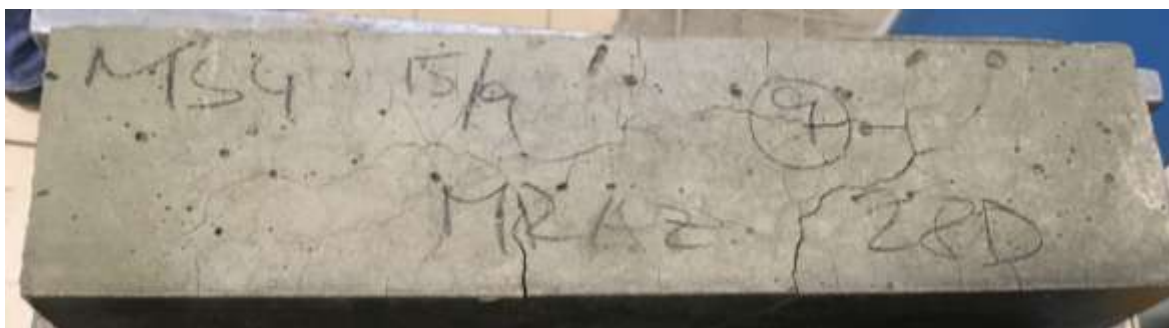
Standardním způsobem vyhodnocení zkoušky mrazuvzdornosti betonu (4) je výpočet součinitele mrazuvzdornosti z poměru pevnosti v tahu za ohybu před a po zmrazování. Aby byl tento beton mrazuvzdorný, musí být hodnota tohoto součinitele mrazuvzdornosti větší než 0,75.



OBR. 20. SROVNÁNÍ SOUČinitele MRAZUVZDORNOSTI STANOVENÉHO Z PEVNOSTI V TAHU ZA OHYBU

Z hlediska mrazuvzdornosti se ukázala jako nevhodná, podobně jako při zkoušce odolnosti proti CHRL, receptura MS. Zkušební tělesa byla zkouškou mrazuvzdorností po 28 dnech a 100 cyklech poškozena natolik, že jejich pevnosti v tahu za ohybu byly na hranici měřitelnosti jak je vidět na Obr. 21. Po 90 dnech už byla mrazuvzdornost této receptury vyšší, součinitel mrazuvzdornosti 0,67 však jednoznačně vypovídá o nevhodnosti receptury MS. Při srovnání tlakových pevností zjistíme, že přes kolaps v tahu za ohybu dosahují tlakové pevnosti stále 50 % hodnot původních po 28 dnech.

Receptury REF 5%, REF 7% a MS 5% tvoří trojici s téměř totožným součinitelem mrazuvzdornosti po 28 i 90 dnech, který je v rozmezí 0,81-0,83. V tomto srovnání se znovu potvrzuje, že v případě receptury MS 5% zajišťuje dobrou trvanlivost kvalitní provzdušnění a příměs mikrosiliky je tedy redundantní. Navíc z důvodu nižšího obsahu cementu dochází k poklesu tlakových pevností, respektive indexu mrazuvzdornosti. Rozdíl v mrazuvzdornosti při vyšším obsahu vzduchu je zanedbatelný, proto je z této trojice nejvýhodnější receptura REF 5%.



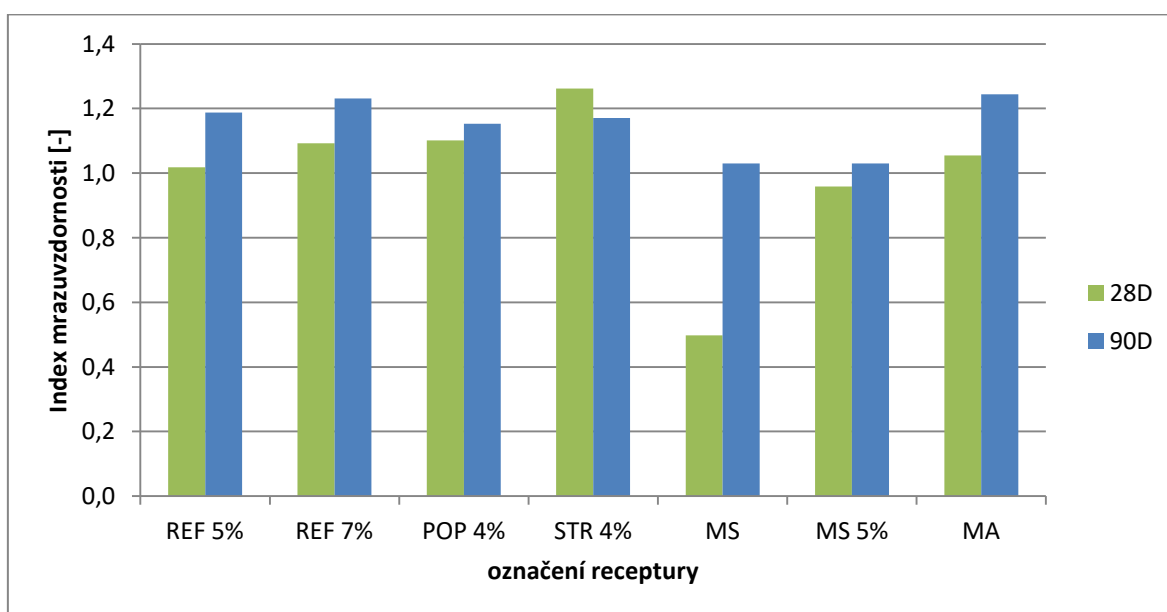
OBR. 21. ZKUŠEBNÍ TĚLESA MS PO ZKOUŠCE MRAZUVZDORNOSTI PO 28 DNECH

Použití přísady MasterAir 150 MHK místo klasické provzdušňující MasterAir 214 se jeví z hlediska mrazuvzdornosti jako výhodné. Beton MA dosahuje

součinitele mrazuvzdornosti 0,92, což je o jednu desetinu více, než v případě provzdušněné referenční receptury REF 5%. Jako dobrou variantu zlepšení mrazuvzdornosti můžeme vidět i nahrazení části cementu kvalitním popílkem, jak je vidět u receptury POP 4%, která se srovnatelným provzdušněním dosahuje oproti REF 5% (0,83) součinitele mrazuvzdornosti 0,95.

Z celého spektra receptur vyhověla zkoušce mrazuvzdornosti STR 4%. Nahrazením části cementu vysokopecní mletou struskou bylo dosaženo součinitele mrazuvzdornosti většího než 1. Tento beton výborně odolával cyklickému zmrazování, a navíc byl schopen v takto nepříznivém prostředí zlepšovat své vlastnosti a dosáhl tak součinitele mrazuvzdornosti 1,06.

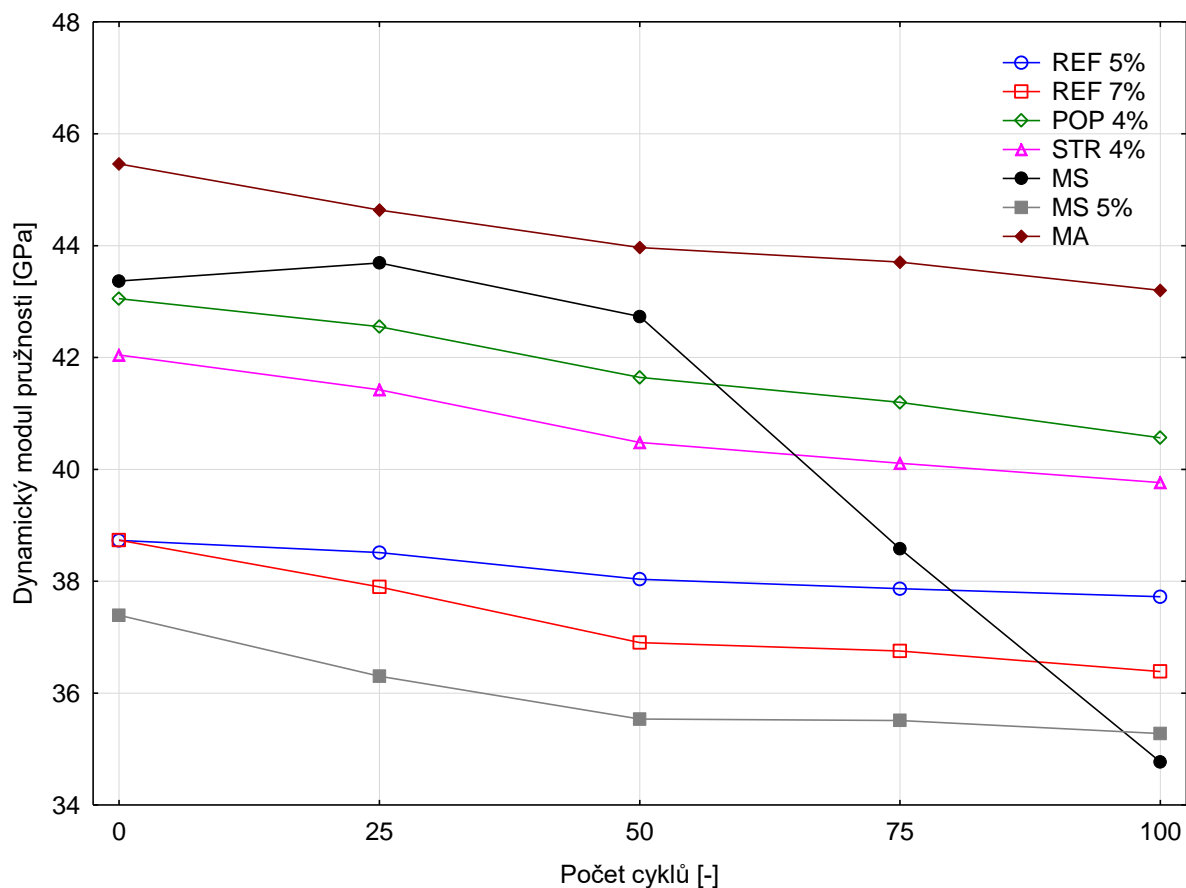
Index mrazuvzdornosti stanovený z pevnosti v tlaku se jeví jako málo citlivý a není schopen vystihnout porušení betonu mrazem s takovou přesností, jako je tomu při stanovení součinitele mrazuvzdornosti stanoveného z pevnosti v tahu za ohybu.



OBR. 22. SROVNÁNÍ INDEXU MRAZUVZDORNOSTI STANOVENÉHO Z PEVNOSTI V TLAKU

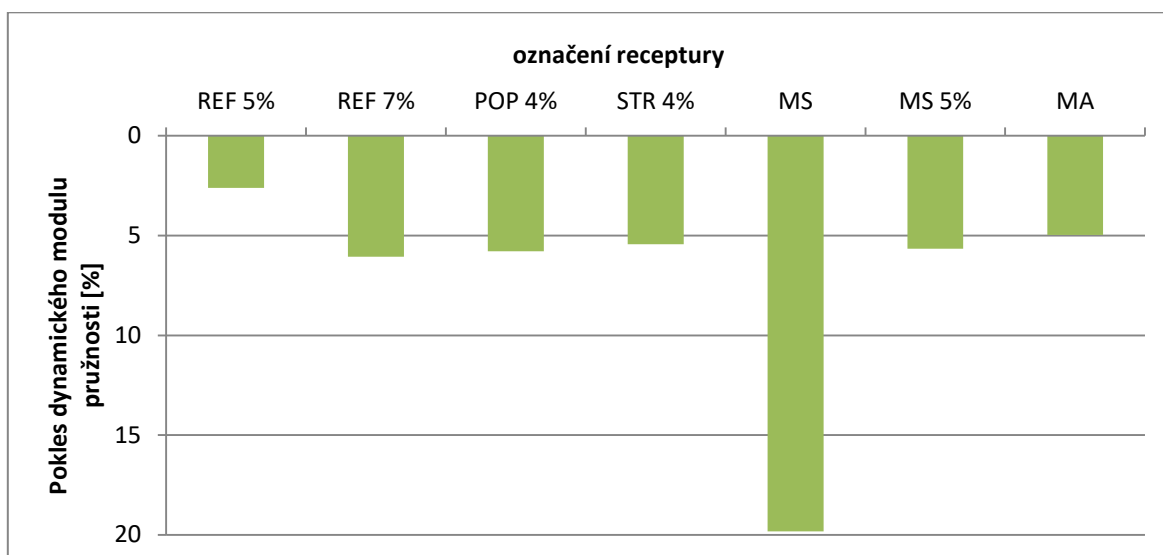
Dynamický modul pružnosti závisí na obsahu vzduchu v betonu. Proto je jeho počáteční hodnota nejvyšší u receptur MS a MA, které jako jediné nebyly provzdušněné. Z časového průběhu (Obr. 23) je opět patrná nedostačující kvalita receptury MS, u které po 50 cyklech dochází k výraznému poklesu dynamického

modulu pružnosti a tedy porušení vnitřní struktury mrazem. V celkovém součtu dosahuje pokles 20 %.



OBR. 23. VÝVOJ DYNAMICKÉHO MODULU PRUŽNOSTI PŘI ZKOUŠCE MRAZUVZDORNOSTI PO 90 DNECH

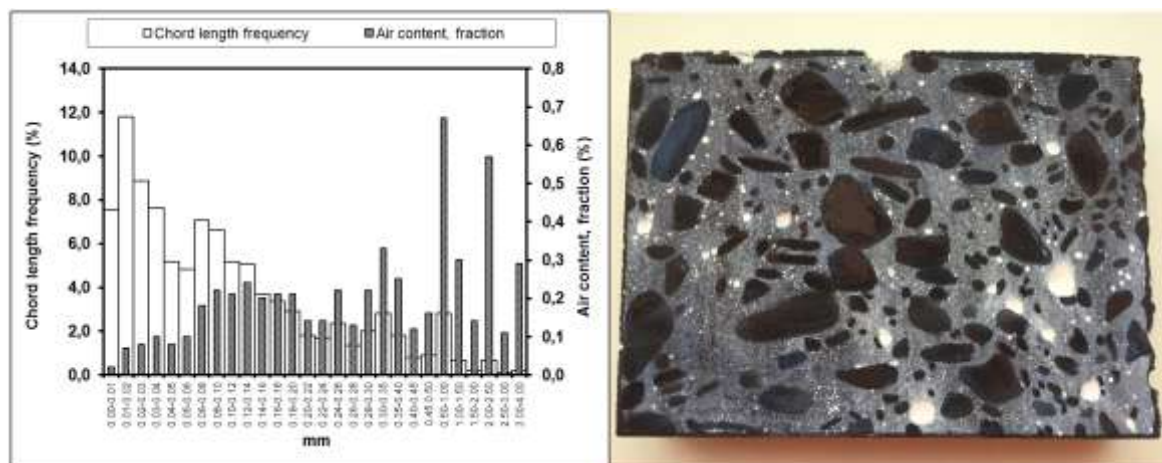
Z hlediska poklesu dynamického modulu pružnosti dosahuje nejlepších hodnot receptura REF 5% s 2,6% poklesem. U zbylých 5 receptur se pokles pohybuje v intervalu 5-6 %. Rozdíl je však v absolutních hodnotách dynamického modulu pružnosti. U POP 4% a STR 4% je to 43,4 GPa resp. 42,0 GPa, kdežto u referenčních receptur a MS % 38,7 GPa resp. 37,4 GPa. Vliv obsahu vzduchu v betonu se projevuje tedy i v tomto případě.



OBR. 24. POKLES DYNAMICKÉHO MODULU PRUŽNOSTI PO 90 DNECH A 100 CYKLECH

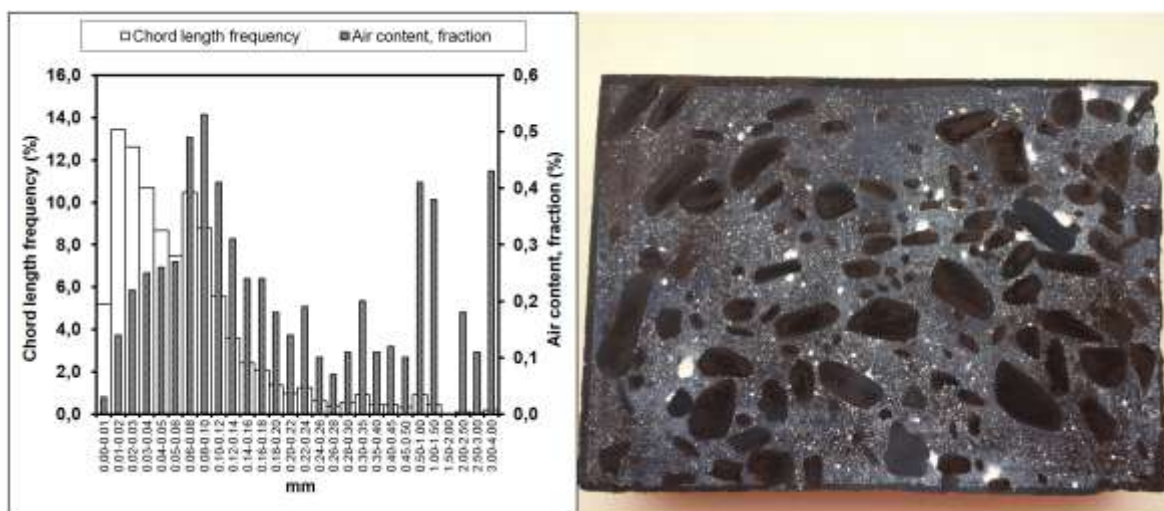
#### 4.5.4 *SPACING FACTOR*

Při vyhodnocování struktury vzduchových pórů ve ztvrdlém betonu je nutné myslet na to, že naměřené výsledky, které charakterizují jednu recepturu, vycházejí z měření měřicí přímky v jedné rovině betonu a podrobně popisují právě tuhle oblast. Zda jsou tyto hodnoty reprezentativní skutečně pro celý objem betonu, je diskutabilní. Předpokladem pro dobrou mrazuvzdornost je dostatečný obsah pórů do 300  $\mu\text{m}$ . Jejich zastoupení zobrazují následující grafy ve své levé části. Neprovzdušněné betony MS a MA lze jednoznačně identifikovat podle malého množství zmíněných pórů. U receptury REF 5% vidíme nižší množství mikropórů do 300  $\mu\text{m}$  a zároveň větší množství pórů nad 500  $\mu\text{m}$ . Pro docílení vyššího obsahu mikropórů by bylo vhodné prodloužit dobu míchání, aby se větší póry měly možnost rozmíchat na menší.

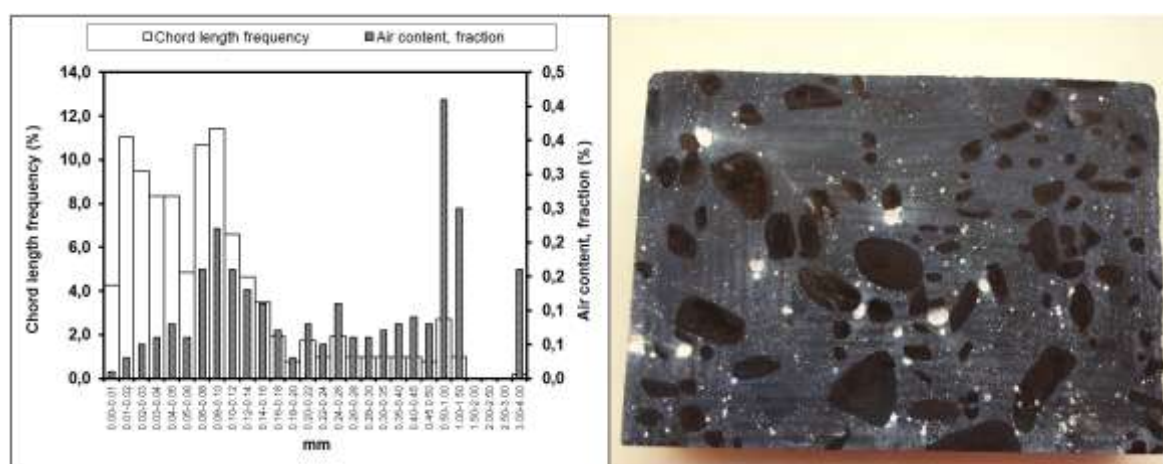


OBR. 25. REF 5% - VYHODNOCENÍ STRUKTURY VZDUCHOVÝCH PÓRŮ

Naopak ukázkou kvalitně provzdušněného betonu je REF 7%, kde je největší podíl vzduchových pórů v intervalu 60-140  $\mu\text{m}$ .



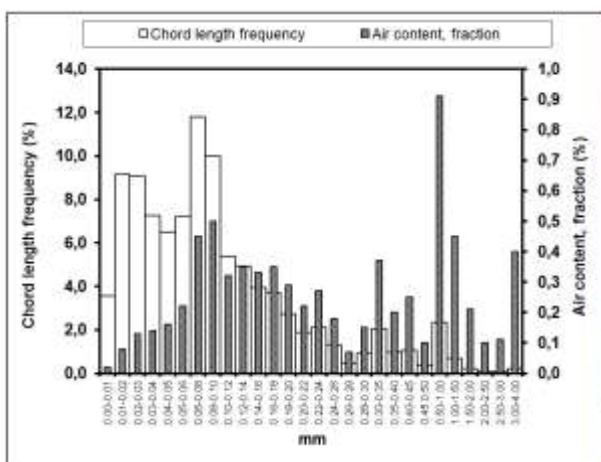
OBR. 26. REF 7% - VYHODNOCENÍ STRUKTURY VZDUCHOVÝCH PÓRŮ



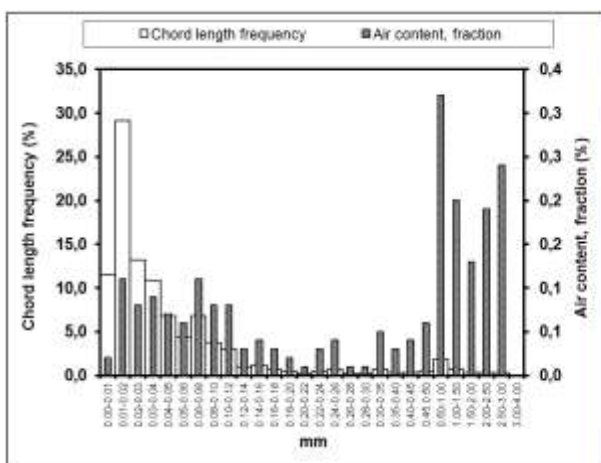
OBR. 27. POP 4% - VYHODNOCENÍ STRUKTURY VZDUCHOVÝCH PÓRŮ

Při porovnání obsahu vzduchu v čerstvém a ztvrdlém betonu u receptur POP 4% a STR 4% zjišťujeme značný rozpor. Obsah vzduchu v čerstvém betonu byl u obou receptur 4 %. Podle zkoušky na ztvrdlém betonu má POP 4% pouze 2,64 % vzduchu a STR 4% 7,29%. Liší se i obsah mikroskopických vzduchových pórů a součinitel prostorového rozložení vzduchových pórů, jak ukazuje Obr. 32. Přitom výsledky mrazuvzdornosti a odolnosti proti mrazu a CHRL po 90 dnech jsou u těchto betonů srovnatelné. Je tedy zřejmé, že výsledky stanovené lineární optickou metodou musíme brát s rezervou.

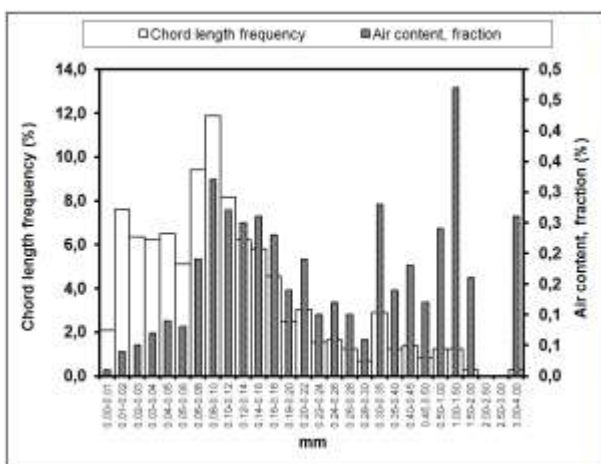




OBR. 28. STR 4% - VYHODNOCENÍ STRUKTURY VZDUCHOVÝCH PÓRŮ

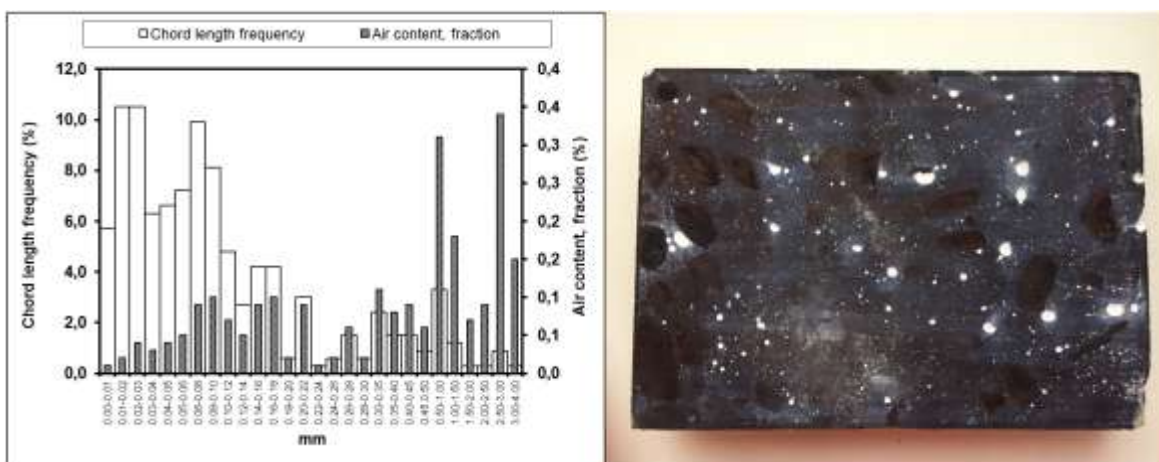


OBR. 29. MS - VYHODNOCENÍ STRUKTURY VZDUCHOVÝCH PÓRŮ



OBR. 30. MS 5% - VYHODNOCENÍ STRUKTURY VZDUCHOVÝCH PÓRŮ

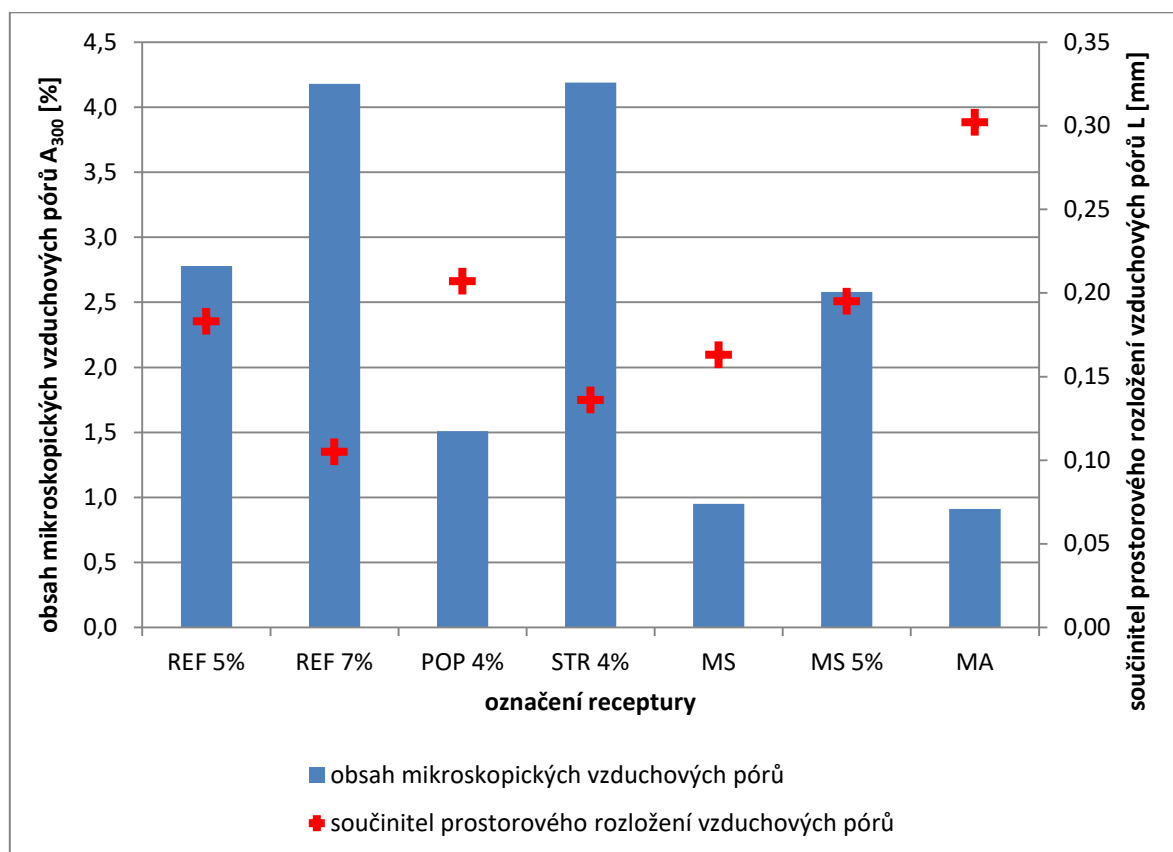




OBR. 31. MA - VYHODNOCENÍ STRUKTURY VZDUCHUVÝCH PÓRŮ

Beton MA bychom, přes použití přísady MasterAir 150 MHK, mohli podle hodnot naměřených na ztvrdlém betonu označit za neprovzdušněný. Celkový obsah vzduchu ve ztvrdlém betonu 2,38 %, součinitel prostorového rozložení vzduchových pórů 0,302 a obsah mikropórů pouhých 0,91 % by mohli vést k předpokladu, že takový beton nebude schopen odolávat v podmínkách prostředí XF3. Jak ale ukázala zkouška mrazuvzdornosti a odolnosti proti mrazu a CHRL, tento beton vyhověl jak z hlediska součinitele mrazuvzdornosti, tak i množství odpadu po 100 cyklech. Větší váhu mají v tomto případě výsledky ze zkoušek mrazuvzdornosti a odolnosti proti mrazu a CHRL, které byly prováděny na několika sadách zkušebních těles, oproti lineární optické metodě, která vycházela pouze z jedné roviny řezu a měřící přímky na jednom zkušebním tělese.

Na základě tohoto vyhodnocení se jeví využití spacing faktoru stanoveného lineární optickou metodou pro posuzování parametrů betonu s ohledem na jeho trvanlivost jako nedostatečně reprezentativní. Naměřené hodnoty dostatečně nevypovídají o parametrech betonu v celém jeho objemu. Pro tyto účely by mohlo být vhodnější využít AVA a stanovit potřebné parametry přímo na čerstvém betonu po uložení. V případě ztvrdlého betonu by potom mohla mít přínos optická metoda snímající plochu roviny řezu, namísto pouhé měřící přímky.

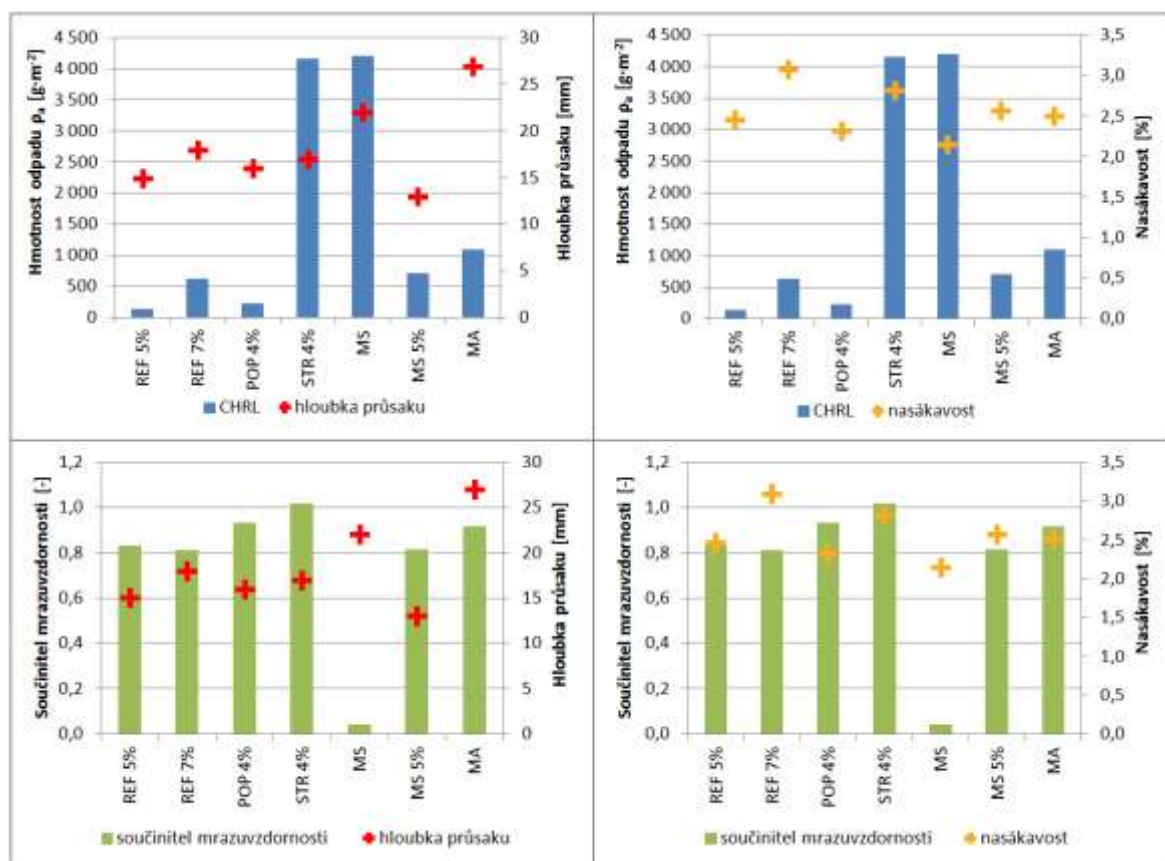


OBR. 32. POROVNÁNÍ OBSAHU MIKROSKOPICKÝCH VZDUCHOVÝCH PÓRŮ A SOUČinitele ROZLOŽENÍ VZDUCHOVÝCH PÓRŮ VE ZTVRDLÉM BETONU

#### 4.5.5 POROVNÁNÍ VODOTĚSNOSTI A NASÁKAVOSTI VE VZTAHU S MRAZUVZDORNOSTÍ A ODOLNOSTÍ PROTI CHRL

Zkrácená zkouška mrazuvzdornosti pomocí nasákavosti (37) uvádí, že pokud je nasákavost po 24 hodinách uložení ve vodě menší, než 6,5 % je beton mrazuvzdorný. Betony zkoušené v rámci této práce však vesměs dosahují po 24 hodinách nasákavosti od 2 do 3,5 %. Z hlediska této normy by tedy měly být všechny bez výjimky mrazuvzdorné, což ve skutečnosti není pravda. Navíc můžeme v tomto experimentu pozorovat, že některé betony s vyšší nasákavostí mají vyšší součinitel mrazuvzdornosti ve srovnání s ostatními.

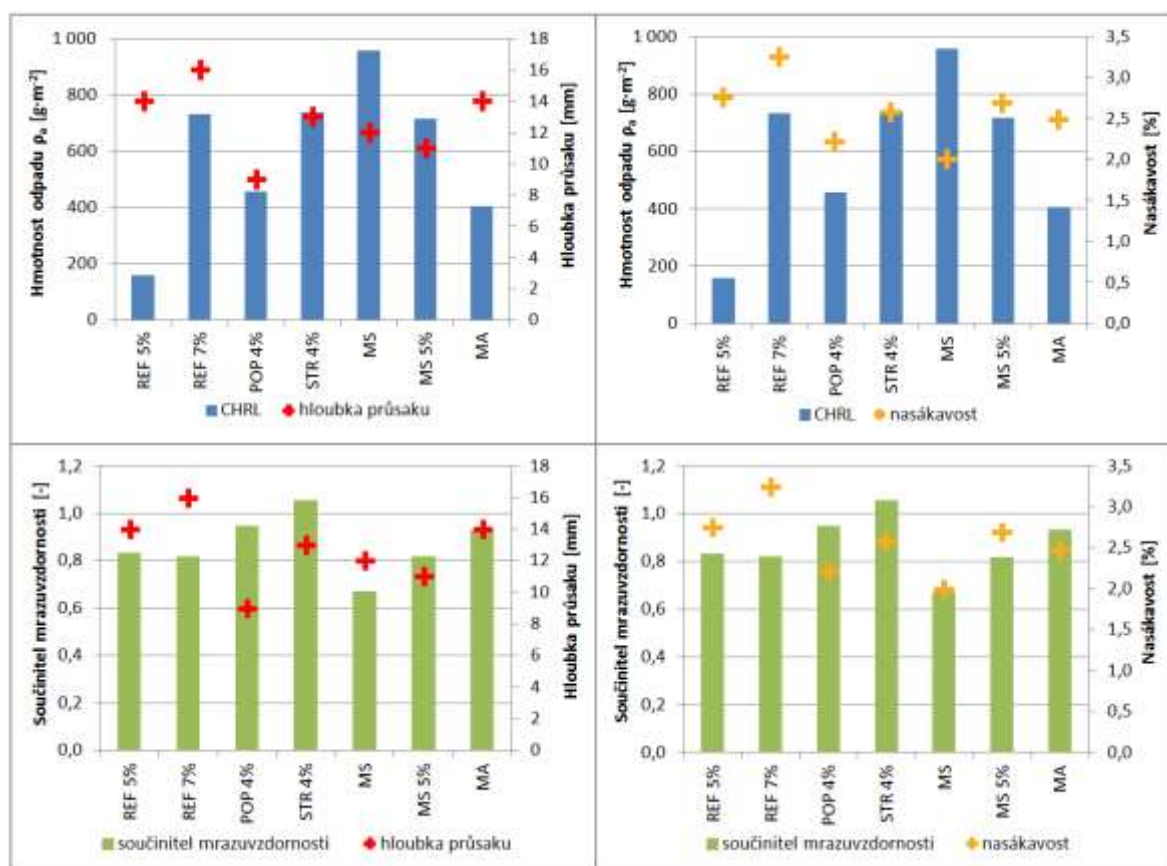
Podobné tendence plynou z porovnání maximální hloubky průsaku (73) se součinitelem mrazuvzdornosti. Pro tu je horní mez v prostředí XF3 dle ČSN P 73 2404 (2) 20 mm. Ukázalo se, že i když beton MA tuto hranici překročil o 7 mm, dosáhl dobré mrazuvzdornosti i povrchové odolnosti. Beton MS, jehož vodotěsnost přesáhla 20 mm, nevyhověl ani v jedné z porovnávaných zkoušek.



OBR. 33. POSOUZENÍ SOUVISLOSTÍ MEZI NASÁKAVOSTÍ, VODOTĚSNOSTÍ, ODOLNOSTÍ PROTI CHRL A MRAZUVZDORNOSTÍ PO 28 DNECH

Z tohoto porovnání vyplývá, že betony, u kterých je mrazuvzdornost i odolnost proti CHRL v blízkosti povolených mezí, není možné posuzovat z pohledu trvanlivosti na základě stanovení nasákavosti nebo hloubky průsaku. Mrazuvzdornost je charakteristika celé struktury betonu, nikoli jen jeho povrchových vrstev, které ovlivňují hodnoty nasákavosti a průsaku. V případě povrchové odolnosti proti mrazu a CHRL se sice o povrchovou charakteristiku jedná, ale je ovlivněna z podstaty věci širokou škálou faktorů, které nemusí být pro nasákavost a vodotěsnost totožné.

S použitím nasákavosti, případně hloubky průsaku je pravděpodobně možné rozlišit betony na ty, které jsou schopny velmi dobře odolávat mrazu a CHRL a na ty, které se v takovém prostředí rozpadají. V případě, že se nejedná ani o jeden z těchto dvou extrémů, blíží se vypovídající hodnota těchto dvou metod nule.



OBR. 34. POSOUZENÍ SOUVISLOSTÍ MEZI NASÁKAVOSTÍ, VODOTĚSNOSTÍ, ODOLNOSTÍ PROTI CHRL A MRAZUVZDORNOSTÍ PO 90 DNECH

## 4.6 EKONOMICKÉ POROVNÁNÍ RECEPTUR

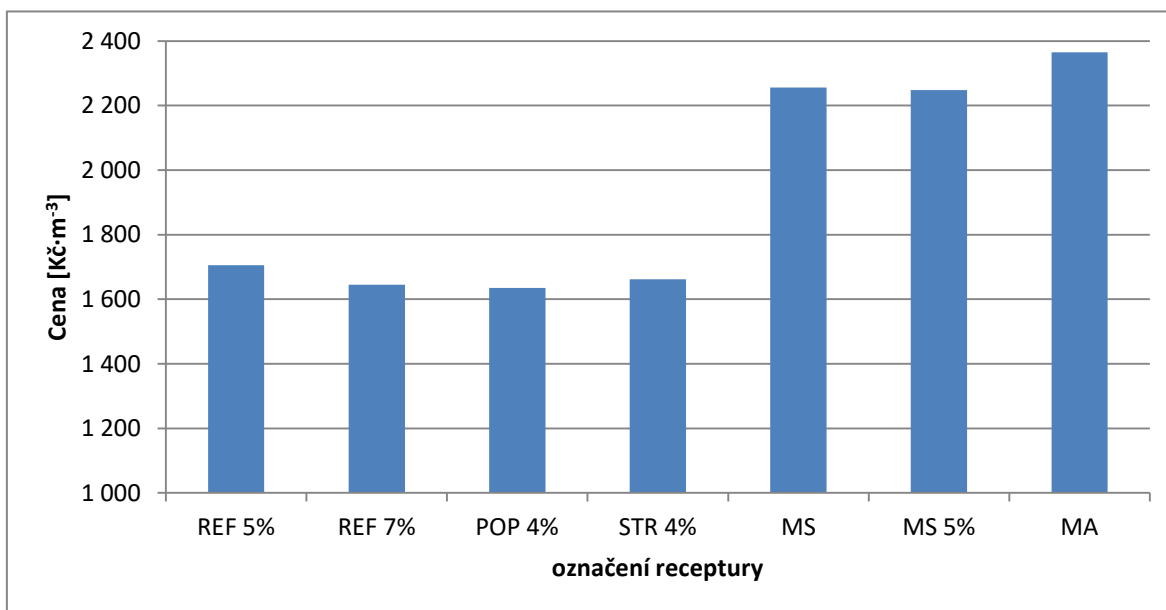
Při návrhu použitých betonů se vycházelo také z podmínky, aby byly srovnatelné, i co se týče nákladů na jejich výrobu. Při kalkulaci se vycházelo z nákladových cen vstupních surovin pro výrobu betonu, které jsou uvedeny v Tab. 10.

TAB. 10. NÁKLADOVÉ CENY VSTUPNÍCH SUROVIN

CEM I 42,5R Hranice	1 800 Kč/t
Popílek Dětmárovice	270 Kč/t
Struska Štramperk	1 000 Kč/t
Mikrosilika SikaFume	30 000 Kč/t
kamenivo Mankovice	250 Kč/t
MasterGlenium 980	32 Kč/kg
MasterAir 214	28,6 Kč/kg
MasterAir 150 MHK	300 Kč/kg

TAB. 11. KALKULACE CEN JEDNOTLIVÝCH RECEPTUR

označení	REF 5% [Kč]	REF 7% [Kč]	POP 4% [Kč]	STR 4% [Kč]	MS [Kč]	MS 5% [Kč]	MA [Kč]
CEM I 42,5R Hranice	666,00	666,00	576,00	576,00	576,00	576,00	666,00
Popílek Dětmárovice	-	-	13,50	-	-	-	-
Struska Štramberk	-	-	-	30,00	-	-	-
Mikrosilika SikaFume	-	-	-	-	600,00	600,00	-
0/4 Mankovice	194,25	185,23	200,65	202,48	211,35	205,21	194,21
4/8 Mankovice	35,25	33,55	35,55	35,88	37,45	36,36	35,18
8/16 Mankovice	113,50	108,24	114,70	115,74	120,82	117,31	113,48
11/22 Mankovice	95,00	88,08	88,89	89,70	93,64	90,91	95,09
MasterGlenium 980	142,08	121,74	146,09	147,83	153,04	153,04	202,99
MasterAir 214	21,16	26,49	19,90	20,02	-	19,40	-
MasterAir 150 MHK	-	-	-	-	-	-	619,57
<b>Σ nákladů na výrobu betonu [Kč·m<sup>-3</sup>]</b>	<b>1705,24</b>	<b>1644,44</b>	<b>1635,07</b>	<b>1661,45</b>	<b>2255,57</b>	<b>2248,04</b>	<b>2364,48</b>



OBR. 35. POROVNÁNÍ NÁKLADŮ PRO VÝROBU ZKOUŠENÝCH RECEPTUR

Z nákladového srovnání vyplývá, že výroba betonu s mikrosilikou stejně jako s použitím MasterAir 150 MHK není v porovnání s ostatními konkurenceschopná. Receptury POP 4% a STR 4% mají oproti REF 5% nižší náklady z důvodu nahrazení části cementu levnější příměsí.

## 4.7 DISKUZE VÝSLEDKŮ

Z vyhodnocených parametrů vyplývá, že pro třídu betonu C 30/37 XF3 je zbytečné používat mikrosiliku. Při snaze navrhnout porovnatelné receptury byla dávka mikrosiliky nedostatečná a i přesto byly náklady na tyto receptury výrazně vyšší. Z toho plynou nevyhovující výsledky jak z hlediska mrazuvzdornosti, tak i odolnosti proti CHRL. Při použití přísady MasterAir 150 MHK dosahoval beton i bez klasické provzdušňující přísady dostatečné mrazuvzdornosti a odolnosti proti CHRL a zároveň i relativně vysoké pevnosti v tlaku v porovnání s ostatními provzdušněnými betony. Problém je však ve větším rozptylu při stanovení odolnosti proti CHRL a ve výrazně vyšší ceně. Tato přísada je však dobrou alternativou v oblastech, kde je použití provzdušňovací přísady problematické.

Při porovnání míry provzdušnění se jeví jako dostačující obsah vzduchu v čerstvém betonu 5 %. Při navýšení na 7% už nedocházelo ke zlepšení odolnosti, naopak se tím zhoršují mechanické parametry.

Z hlediska mrazuvzdornosti a povrchové odolnosti proti CHRL je referenční beton s 5 % vzduchu srovnatelný s betony POP 4% a STR 4%, které jsou navíc výhodnější z hlediska pucolánové reakce pro dlouhodobé pevnosti a nižší ceny. Pro beton třídy C 30/37 XF3 je tedy pro dosažení mrazuvzdornosti nejvhodnější použít recepturu POP 4% nebo STR 4% s ohledem na konkrétní podmínky při realizaci.

Možnost využití nasákavosti nebo vodotěsnosti betonu pro prognózu jeho trvanlivosti byl zpochybněna, protože nasákavost ani vodotěsnost nedokážou dostatečně citlivě a reálně zachytit vlastnosti mikrostruktury betonu. Tudíž neumožňují předpovědět jeho trvanlivost.

Hodnoty spacing faktoru a dalších charakteristik pórového systému ve ztvrdlém betonu jsou velice přesné v oblasti měřící přímky, kde se měří. S hlediska celkového objemu betonu to však může být nereprezentativní údaj. Proto je pravděpodobně výhodnější měřit tuto hodnotu pomocí AVA na čerstvém betonu nebo pracovat na vývoji planimetrické optické metody, která by rozšířila lineární optickou o další dimenzi.

## 5 ZÁVĚR

Cílem teoretické části této diplomové práce bylo vysvětlit aktuální téma mrazuvzdornosti betonu, které se dostalo do povědomí zavedením doplňující normy ČSN P 73 2404 (2) v roce 2016, která znovu zavádí v platnost zkoušky mrazuvzdornosti betonu pro stupně vlivu prostředí XF1 a XF3. Zevrubně popisuje mechanismy, ke kterým dochází při působení mrazu, případně CHRL na beton. V souvislosti s tím se zaměřuje na to, jak vstupní suroviny ovlivňují trvanlivost betonu v takovém prostředí.

V dnešní době je nejčastějším přístupem zajištění mrazuvzdornosti provzdušnění betonu. Pro dobrou trvanlivost je však nutné dosáhnout zejména dostatečného obsahu mikroskopických pórů, které mají velikost do 300  $\mu\text{m}$ . K tomu je potřeba účinné provzdušňující přísady, kterou je třeba spolehlivě naladit spolu s ostatními vstupními surovinami a s technologií výroby betonu. Druhým možným ověřeným způsobem je kvalitně utěsněný beton s použitím mikrosiliky a nízkým vodním součinitelem, ideálně do 0,36. Při výrobě takového betonu je nutná účinná superplastifikační přísada.

Další významná kapitola se zabývá různými přístupy zkoušení mrazuvzdornosti po celém světě. Pro stanovení dlouhodobých trvanlivostí v řádu desítek a stovek let během zkoušky trvající maximálně několik týdnů je její průběh klíčový. Ideální zkušební metoda by měla vystihovat přesné podmínky, kterým bude reálná konstrukce vystavena. Proto nelze definovat jedinou správnou. Lze však říci, že metody využívající cyklického střídání mrazu a tání vystihují reálné podmínky mnohem lépe, než metody nepřímé, vycházející z vyhodnocení mikrostruktury betonu nebo jeho nasákavosti.

Cílem experimentální části bylo porovnání různých přístupů pro návrh mrazuvzdorného betonu třídy C 30/37 - XF3 - CI 0,2 - D<sub>max</sub> 22 - S3 ze surovin běžně dostupných na severní Moravě, a to i z hlediska nákladů. Vyzkoušeny byly různé stupně provzdušnění, přísady včetně prefabrikovaných polyakrylonitrilových mikrokuliček, a zejména pak využití aktivních příměsí. Z výzkumu vyplývá, že v této třídě betonu není použití mikrosiliky ani prefabrikovaných mikrokuliček vhodné. Spolehlivých výsledků je možné dosáhnout u betonu se správným provzdušněním, spolu s využitím kvalitního popílku, případně strusky, které jsou významně levnější i oproti referenčním betonům. Popílek je navíc pozitivní i

z environmentálního hlediska a v porovnání se struskou má srovnatelné parametry mrazuvzdornosti při nižších nákladech.

Při vyhodnocování parametrů ztvrdlého betonu bylo ověřeno, že trvanlivost nelze prognózovat z nasákavosti nebo vodotěsnosti betonu, které popisují pouze vlastnosti povrchové vrstvy. Nanejvýš mohou tyto zkoušky rozlišit betony na ty, které jsou schopny velmi dobře odolávat mrazu a CHRL a na ty, které se v takovém prostředí rozpadají. Pokud se nejedná o tyto dva extrémy, nejsou tyto zkoušky ani orientační. Posuzovat trvanlivost je nutné komplexně zkouškou, která co nejlépe vystihuje reálné podmínky. Během takových zkoušek se ověřilo jako výhodné měřit vývoj dynamického modulu pružnosti. Touto nedestruktivní metodou lze sledovat dynamiku a rozsah porušení zkušebních těles v pravidelných intervalech v průběhu několikátýdenní zkoušky.

Posuzovat mrazuvzdornost a trvanlivost podle mikrostruktury ztvrdlého betonu by mohlo být vhodné za předpokladu její reálné analýzy. Jak ukazují výsledky, spacing factor měřený lineární optickou metodou je pro charakteristiku parametrů v celém objemu betonu nedostatečný. Určitý pokrok by mohla přinést planimetrická optická analýza, popisující celou rovinu řezu namísto měřících přímků.

Poznatky z praktické části práce vedou k lepšímu objasnění vztahů mezi mrazuvzdorností a dalšími parametry betonu v závislosti na jeho složení.



## 6 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. ČSN EN 206. *Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
2. ČSN P 73 2404. *Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda - Dopňující informace*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.
3. ČSN EN 206-1. *Beton - Část 1: Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda*. Praha : Český normalizační institut, 2001.
4. ČSN 73 1326. *Stanovení odolnosti povrchu cementového betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek*. Praha : Úřad pro normalizaci a měření, 1971.
5. ČSN 73 1322. *Stanovení mrazuvzdornosti betonu*. Praha : Český normalizační institut, 2003.
6. ČSN 73 1326 Změna Z1. *Stanovení odolnosti povrchu cementového betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek*. Praha : Český normalizační institut, 2003.
7. COUFAL, Robert. Odolnost betonu v prostředí s mrazovými cykly. *Materiály pro stavbu*. Duben 2013, stránky 32-37.
8. BECHYNĚ, Stanislav. *Stavitelství betonové - 1, Technologie betonu, svazek první, složky betonu*. Praha : STNL, 1954.
9. ŠLACHTA, Emil. *Provzdušněný a plastifikovaný beton: Určeno pro techniky silničních a letištních staveb*. Praha : STNL, 1954.
10. BECHYNĚ, Stanislav. *Stavitelství betonové - 1, technologie betonu, svazek pátý, vodotěsnost a jiné stavební a fyzikální vlastnosti betonu*. Praha : SNTL, 1961.
11. ERLIN, Bernard and MATHER, Bryant. A new process by which cyclic freezing can damage concrete - the Erlin/Mather effect a concept. *Cement and Concrete Research: An International Journal*. 2005, 35, pp. 1407-1411.

12. PYTLÍK, Petr. *Technologie betonu*. Brno : VUTIUM, 2000. 80-214-1647-5.
13. E-konstrukter. [Online] [Citace: 2. Prosinec 2016.] <http://e-konstrukter.cz/prakticka-informace/linearni-teplotni-roztaznost-mateialu>.
14. YI, Seong-Tae, PAE, Sue-Won a KIM, Jin-Keun. Minimum curing time prediction of early-age concrete to prevent frost damage. *Construction and building materials*. 2011, 25.
15. AÏTCIN, Pierre-Claude. *Vysokohodnotný beton*. Praha : Informační centrum ČKAIT, 2005. 80-86769-39-9.
16. COLLEPARDI, Mario. *Moderní beton*. Praha : Informační centrum ČKAIT, s.r.o., 2009. ISBN 978-80-87093-75-7.
17. ČSN EN 1367-1. *Zkoušení odolnosti kameniva vůči teplotě a zvětrávání - Část 1: Stanovení odolnosti proti zmrazování a rozmrazování*. Praha : Český normalizační institut, 2007.
18. ČSN EN 1367-2. *Zkoušení odolnosti kameniva vůči teplotě a zvětrávání - Část 2: Zkouška síranem hořčnatým*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
19. ČSN EN 12620+A1. *Kamenivo do betonu*. Praha : Český normalizační institut, 2008.
20. ČSN EN 1097-6. *Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva - Část 6: Stanovení objemové hmotnosti zrn a nasákavosti*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
21. Technické podmínky - TP 137. *Vyloučení alkalické reakce kameniva v betonu na stavbách pozemních komunikací*. Praha : Ministerstvo dopravy, 2016. 4.
22. HALE, W.Micah, FREYNE, Seamus F. a RUSELL, Bruce W. Examining the frost resistance of high performance concrete. *Construction and building materials*. 2009, 23.
23. CIKRLE, Petr a BÍLEK, Vlastimil. Modlu pružnosti vysokopevných betonů různého složení. *Beton TKS*. 2010, 5.

24. LST EN 1338:2003+AC:2006. *Betoninės grindinio trinkelės. Reikalavimai ir bandymo metodai*. Vilnius : Lietuvos standartizacijos departamentas, 2006.
25. SKRIPKIUNAS, Gintautas, a další. The cement type effect on freeze - thaw and deicing salt resistance of concrete. *Procedia Engineering*. 2013.
26. WOODS, H. Observations on the resistance of concrete to freezing and thawing. s.l. : Research and development laboratories of the Portland Cement association, 1956.
27. MINDESS, S. a Young, JF. *Concrete*. New Jersey, Englewood Cliffs (NJ) : Prentice-Hall, 1981.
28. COHEN, MD, ZHOU, Y a WL., DOLCH. Non-air-entrained high strength concrete - is it frost resistant? *ACI Materials Journal*. 1992.
29. KRIESEL, RC a FRENCH, CW. Durability of high performance concrete. *Structural faults and repairs*. 1995.
30. COUFAL, Robert. Požadavky na složení betonu vyplývající ze specifikace betonu - problémy a alternativy. *Beton TKS*. 2013, 3.
31. FAGERLUND, G. Theoretical investigation on frost resistance of high performance concrete. *Durability of high performance concrete*. Beijing : China Science press, 1998.
32. PENG, Gai-Fei, a další. The effect of air entrainment and pozzolans on frost resistance of 50-60 MPa grade concrete. *Construction and building materials*. 2007, 21.
33. Mapei. *Mrazuvzdorná přísada S*. [Online] [Citace: 13. Prosinec 2016.] [http://www.mapei.com/public/CZ/download/mrazuvzdorna\\_prisada\\_s.pdf](http://www.mapei.com/public/CZ/download/mrazuvzdorna_prisada_s.pdf).
34. Sika. *Vodotěsnící přísada*. [Online] [Citace: 13. Prosinec 2016.] [http://cze.sika.com/cs/produkty\\_a\\_reseni/stavebnictvi/02a006/02a006sa03/02a006sa03ssa07.html](http://cze.sika.com/cs/produkty_a_reseni/stavebnictvi/02a006/02a006sa03/02a006sa03ssa07.html).
35. BEHFARNIA, Kiachehr a SALEMI, Niloofar. The effects of nano-silica and nano-alumina on frost resistance of normal concrete. *Construction and building materials*. 2013, 48.

36. ČSN EN 12390-5. *Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 5: Pevnost v tahu ohybem zkušebních těles*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
37. ČSN 73 1325. *Stanovení mrazuvzdornosti betonu zkrácenými zkouškami mrazuvzdornosti*. Praha : Úřad pro normalizaci a měření, 1978.
38. CHROMKOVÁ, Ivana. Zrychlená zkouška mrazuvzdornosti a možnosti jejího využití. *tzb-info*. [Online] 23. Únor 2015. [Citace: 8. Prosinec 2016.] <http://stavba.tzb-info.cz/beton-malty-omitky/12350-zrychlena-zkouska-mrazuvzdornosti-a-moznosti-jejeho-vyuziti>.
39. ČSN 73 1380. *Zkoušení odolnosti betonu proti zmrazování a rozmrazování - Porušení vnitřní struktury*. Praha : Český normalizační institut, 2007.
40. PD CEN/TR 15177. *Testing the freeze-thaw resistance of concrete. Internal structural damage*. Brusel : European committee for standardization, 2006.
41. CIKRLE, Petr a POSPÍCHAL, Ondřej. Nový způsob stanovení mrazuvzdornosti betonu s využitím metod pro sledování poruch struktury. *Beton TKS*. 2011, 3.
42. ČSN 73 1371. *Nedestruktivní zkoušení betonu - Ultrazvuková impulzová metoda zkoušení betonu*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
43. ČSN 73 1372. *Nedestruktivní zkoušení betonu – Rezonanční metoda zkoušení betonu*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
44. ČSN P CEN/TS 12390-9. *Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 9: Odolnost proti zmrazování a rozmrazování - Odlupování*. Praha : Český normalizační institut, 2007.
45. DOHNÁLEK, Jiří, a další. Zkoušení mrazuvzdornosti betonu. *Beton TKS*. 2008, 3.
46. *Opakovatelnost a reprodukovatelnost stanovení odolnosti betonu proti působení CHRL*. MISÁK, Petr, a další. Brno : Vysoké učení technické v Brně, 2013, Trvanlivost silikátových materiálů, stránky 44-53. ISBN 978-80-214-4784-4.

47. VYMAZAL, T, a další. Vliv zkušebních forem a ošetřování těles na výsledky zkoušek fyzikálně-mechanických a trvanlivostních charakteristik ztvrdlého betonu. *Beton TKS*. 2011, 4.
48. ČSN EN 12350-7. *Zkoušení čerstvého betonu - Část 7: Obsah vzduchu - Tlakové metody*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
49. ČSN EN 480-11. *Přísady do betonu, malty a injektážní malty - Zkušební metody - Část 11: Stanovení charakteristik vzduchových pórů ve ztvrdlém betonu*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2006.
50. AARRE, Tine. Air-Void Analyzer. *cement.org*. [Online] [Citace: 12. Prosinec 2016.] <http://cement.org/tech/pdfs/PL981airvoid.pdf>.
51. HASHOLT, M., T. Air void structure and frost resistance: A Challenge to Powers spacing factor. *Materials and Structures*. 2014.
52. WAWRZENCZYK, Jerzy a WIOLETTA, Kozak. Protected Paste Volume (PPV) as a parameter linking the air-pore structure in concrete with the frost resistance results . *Construction and Building Materials*. 2016.
53. WANG, Zhendi, a další. Characterizing frost damages of concrete with flatbed scanner. *Construction and Building Materials*. 2016, 102.
54. ZALOGA, D a Kasperkiewicz, J. Estimation of the structure of air entrained concrete using a flatbed scanner. *Cement and Concrete Research*. 2005, 35.
55. KUSOA, Hannele, FERREIRA, Miguel a LEIVO, Markku. Freeze-thaw testing. *CSLA Project - Task 1. Literature review*. Helsinki : VTT Technical research centre of Finland, 2013.
56. SS 13 72 44. *Concrete testing - Hardened concrete - Frost resistance*. Stockholm : Swedish standards institute, 1992.
57. ÖNORM B 3303. *Betonprüfung*. Wien : Österreichisches Normeninstitut, 2002.
58. SETZER, J., Max a AUBERG, Rainer. Testing of freeze thaw and deicing salt resistance. místo neznámé : Universität GH Essen.

59. RILEM. TC 117-FDC. *CDF test - test method for the freez thaw and deicing resistance of concrete - Tests with sodium chloride*. místo neznámé : RILEM Publications SARL, 1996.
60. VASSILEV, Dimitre Georgiev. *Evaluation of Test Methods for De-Icer Scaling Resistance of*. Toronto : University of Toronto, 2012.
61. SFS 5447. *Concrete. Durability. Freeze-thaw durability*. Helsinki : Finlands Standardiserings kommission, 1988.
62. XP P18-420. *Béton - Essai d'écaillage des surfaces de béton durci exposées au gel en présence d'une solution saline*. Paris : Association Française de Normalisation, 2012.
63. ASTM C 666/C 666M. *Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing*. West Conshohocken, PA, United States : ASTM International, 2008.
64. ASTM C672 / C672M-12. *Standard Test Method for Scaling Resistance of Concrete Surfaces Exposed to Deicing Chemicals*. West Conshohocken, PA : ASTM International, 2012.
65. NQ 2621-900. *Betons de masse volumique normale et constituants*. Québec : Bureau de Normalisation du Québec, 2012.
66. MTO LS-412. *Scaling Resistance of Concrete Surfaces Exposed to Deicing Chemicals*. Toronto : Ministry of Transportation, Ontario, 2012.
67. ASTM C1260 - 14. *Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)*. West Conshohocken, PA : ASTM International, 2014.
68. ČSN 72 1179. *Stanovení reaktivnosti kameniva s alkáliemi*. Praha : Úřad pro normalizaci a měření, 1968.
69. ČSN EN 933-4 . *Zkoušení geometrických vlastností kameniva - Část 4: Stanovení tvaru zrn - Tvarový index*. Praha : Český normalizační institut, 2008.
70. ČSN EN 12350-2. *Zkoušení čerstvého betonu - Část 2: Zkouška sednutím*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.

71. ČSN EN 12350-6. *Zkoušení čerstvého betonu - Část 6: Objemová hmotnost*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
72. ČSN 73 1316. *Stanovení vlhkosti, nasákavosti a vztlínivosti betonu*. Praha : Federální úřad pro normalizaci a měření, 1989.
73. ČSN EN 12390-8. *Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 8: Hloubka průsaku tlakovou vodou*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
74. ČSN EN 12390-7. *Zkoušení ztvrdlého betonu – Část 7: Objemová hmotnost ztvrdlého betonu*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
75. ČSN EN 12390-3 Změna Z1. *Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
76. ČSN EN 12390-5. *Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 5: Pevnost v tahu ohybem zkušebních těles*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
77. ASTM C457 / C457M-12. *Standard Test Method for Microscopical Determination of Parameters of the Air-Void System in Hardened Concrete*. West Conshohocken, PA : ASTM International, 2012.

## 7 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.	Vztah mezi velikostí pórů a teplotou tvorby ledu (9).....	14
Obr. 2.	Chování vody a ledu v kapilárním póru v průběhu zmrazovacího cyklu (8) .....	16
Obr. 3.	Průběh závislosti na čase dle ČSN 73 1322 (3).....	26
Obr. 4.	Závislost teploty na čase zmrazovacího roztoku uprostřed na zkoušeném povrchu dle ČSN P CEN/TS 12390-9 (44).....	29
Obr. 5.	Metoda A - Průběh závislosti teploty na čase (4) .....	31
Obr. 6.	Metoda C - průběh závislosti teploty na čase (4) .....	32
Obr. 7.	AVA - odběr vzorků - zkušební aparatura- průběh měření (50).....	35
Obr. 8.	Metody analýzy struktury vzduchových pórů (52) .....	36
Obr. 9.	Schéma rozboru zkoušené plochy: (a) vzduchové póry; (b) zrna kameniva; (c) celková plocha vzorku (52) .....	38
Obr. 10.	Schéma vyhodnocení objemu chráněného cementového tmelu: (a) vzduchové póry; (b) zrna kameniva; (c) chráněné oblasti kolem vzduchových pórů; (d) objem chráněného cementového tmelu (52).....	38
Obr. 11.	Porovnání průběhu závislosti teploty na čase mezi ÖNORM a Slab- testem (58).....	41
Obr. 12.	RILEM TC 117-FDC/CDF umístění zkušebního tělesa při zkoušce (55).. .....	42
Obr. 13.	RILEM TC 117-FDC/CDF průběh závislosti teploty na čase (55).....	42
Obr. 14.	MTO LS-412 umístění zkušebního tělesa při zkoušce (62).....	44
Obr. 15.	Porovnání pevnosti v tlaku po 28 a 90 dnech.....	54
Obr. 16.	Povrchová odolnost betonu po 28 dnech .....	55
Obr. 17.	Povrchová odolnost betonu po 28 dnech a 100 cyklech .....	56
Obr. 18.	Povrchová odolnost betonu po 90 dnech .....	57
Obr. 19.	Povrchová odolnost betonu po 90 dnech a 100 cyklech .....	58
Obr. 20.	Srovnání součinitele mrazuvzdornosti stanoveného z pevnosti v tahu za ohybu .....	58
Obr. 21.	Zkušební tělesa MS po zkoušce mrazuvzdornosti po 28 dnech.....	59
Obr. 22.	Srovnání indexu mrazuvzdornosti stanoveného z pevnosti v tlaku .....	60
Obr. 23.	Vývoj dynamického modulu pružnosti při zkoušce mrazuvzdornosti po 90 dnech .....	61



Obr. 24.	Pokles dynamického modulu pružnosti po 90 dnech a 100 cyklech.....	62
Obr. 25.	REF 5% - vyhodnocení struktury vzduchových pórů.....	62
Obr. 26.	REF 7% - vyhodnocení struktury vzduchových pórů.....	63
Obr. 27.	POP 4% - vyhodnocení struktury vzduchových pórů .....	63
Obr. 28.	STR 4% - vyhodnocení struktury vzduchových pórů.....	64
Obr. 29.	MS - vyhodnocení struktury vzduchových pórů.....	64
Obr. 30.	MS 5% - vyhodnocení struktury vzduchových pórů.....	64
Obr. 31.	MA - vyhodnocení struktury vzduchových pórů.....	65
Obr. 32.	Porovnání obsahu mikroskopických vzduchových pórů a součinitele rozložení vzduchových pórů ve ztvrdlém betonu.....	66
Obr. 33.	Posouzení souvislostí mezi nasákavostí, vodotěsností, odolností proti CHRL a mrazuvzdorností po 28 dnech .....	67
Obr. 34.	Posouzení souvislostí mezi nasákavostí, vodotěsností, odolností proti CHRL a mrazuvzdorností po 90 dnech .....	68
Obr. 35.	Porovnání nákladů pro výrobu zkoušených receptur .....	69

## 8 SEZNAM TABULEK

Tab. 1.	Složení receptur .....	49
Tab. 2.	Parametry čerstvého betonu .....	49
Tab. 3.	Vlastnosti ztvrdlého betonu .....	50
Tab. 4.	Hmotnost odpadu po cyklech ve stáří betonu 28 dnů .....	51
Tab. 5.	Hmotnost odpadu po cyklech ve stáří betonu 90 dnů .....	51
Tab. 6.	Hodnoty mrazuvzdornosti po 28 dnech.....	52
Tab. 7.	Hodnoty mrazuvzdornosti po 90 dnech.....	52
Tab. 8.	Hodnoty dynamických modulů pružnosti betonu v průběhu zkoušky mrazuvzdornosti po 90 dnech .....	53
Tab. 9.	Parametry struktury vzduchových pórů ve ztvrdlém betonu.....	53
Tab. 10.	Nákladové ceny vstupních surovin.....	68
Tab. 11.	Kalkulace cen jednotlivých receptur .....	69

## 9 SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

CHRL	chemické rozmrazovací látky
NaCl	chlorid sodný
CaCl <sub>2</sub>	chlorid vápenatý
AVA	air void analyser
PPV	protected paste volume
HPC	vysokohodnotný beton
CCD	charge-coupled device
DPI	dots per inch
D <sub>ČB</sub>	objemová hmotnost čerstvého betonu
D <sub>ZB</sub>	objemová hmotnost ztvrdlého betonu
v	nasákavost
V5	hloubka průsaku tlakovou vodou
f <sub>c,cube</sub>	krychelná pevnost betonu v tlaku
f <sub>c,f</sub>	pevnost v tahu ohybem
ρ <sub>a</sub>	hmotnost odpadu na jednotku plochy
E <sub>bu</sub>	dynamický modul pružnosti stanovený UZ metodou
A <sub>300</sub>	obsah mikroskopických vzduchových pórů do 300 μm
α	měrný povrch vzduchových pórů
L	součinitel prostorového rozložení vzduchových pórů

## **10 SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha č.1: Výsledky zkoušek cementu CEM I 42,5 R Hranice

Příloha č.2: Technický list superplastifikační přísady MasterGlenium SKY 980

Příloha č.3: Technický list provzdušňovací přísady MasterAir 214

Příloha č.4: Technický list přísady MasterAir 150 MHK

Příloha č.5: Prohlášení o shodě mleté granulované vysokopecní strusky

Příloha č.6: Prohlášení o vlastnostech popílku

Příloha č.7: Technický list mikrosiliky SikaFume Füller

Příloha č.8: Protokoly o zkouškách kameniva Mankovice

Příloha č.1: Výsledky zkoušek cementu CEM I 42,5 R Hranice



**CEM I 42,5 R**  
(Expedice)

1.9.2016 - 30.9.2016

Sklívkací číslo	Datum odběru	Datum zkoušení	Silo	SO <sub>3</sub> [%]	CI [%]	ZZ [%]	NP [%]	Objemová stálost [mm]	Počátek tuhnutí [min]	Pevnost v tlaku		Blátno [cm <sup>2</sup> /g]	d [μm]	Na <sub>2</sub> O <sub>eqv</sub> [%]	C <sub>3</sub> A [%]
										po 2 dnech [N/mm <sup>2</sup> ]	po 28 dnech [N/mm <sup>2</sup> ]				
01261	30.8.2016	01.09.16	12	3,56	0,0670	2,65			180	31,43	55,68	3500	25,47	0,89	7,42
01265	2.9.2016	06.09.16	21	3,60	0,0510	2,93		1	182	31,58	56,81	3577	23,98	0,88	7,34
01300	7.9.2016	08.09.16	21	3,65	0,0520	2,73	0,16	1	181	32,20	57,74	3588	23,51	0,88	7,25
01322	9.9.2016	13.09.16	51	3,67	0,0570	2,56		1	187	31,27	59,35	3711	23,32	0,78	6,38
01338	13.9.2016	15.09.16	24	3,62	0,0690	2,53	0,27		167	30,29	58,64	3742	23,00	0,80	6,92
01356	13.9.2016	20.09.16	12	3,56	0,0700	2,81		1	172	30,78	59,99	3764	22,16	0,77	7,23
01371	16.9.2016	22.09.16	12	3,64	0,0540	2,92			180	30,42	57,61	3714	22,79	0,80	7,22
01392	23.9.2016	27.09.16	26	3,73	0,0530	2,74		1	169	30,77	56,19	3565	24,36	0,82	7,34
01401	26.9.2016	29.09.16	23	3,62	0,0490	2,75			163	32,07	56,70	3625	22,12	0,80	7,14
Počet				9	9	9	2	5	9	9	9	9	9	9	9
Minimum				3,56	0,0490	2,53	0,16	1	163	30,29	55,68	3500	22,12	0,77	6,38
Maximum				3,73	0,0700	2,93	0,27	1	187	32,20	59,99	3764	25,47	0,89	7,42
Střední hodnota				3,63	0,0580	2,72	0,22	1,00	176	31,20	57,63	3643	23,41	0,82	7,14
Standardní odchylka				0,05	0,0078	0,12	0,05	0,00	7,66	0,65	1,37	87	1,01	0,04	0,30

*J. Janota*  
Cement Hranice,  
akčiová společnost  
Ověř kontrolu a řízení kvality  
Ing. J. Janota

**CEM I 42.5 R**  
 (Expedice)

1.10.2016 - 31.10.2016

Seřazení číslo	Datum odběru	Datum zkoušení	Silo	SO <sub>3</sub> [%]	Cl [%]	ZZ [%]	NP [%]	Objemová stálost [mm]	Počátek tuhnutí [min]	Pevnost v tlaku		Blaine [cm <sup>2</sup> /g]	d [μm]	Na <sub>2</sub> Oekv [%]	C <sub>3</sub> A [%]
										po 2 dnech [N/mm <sup>2</sup> ]	po 28 dnech [N/mm <sup>2</sup> ]				
01427	30.9.2016	04.10.16	51	3,62	0,0450	2,74		1	189	29,26	57,65	3697	23,84	0,79	6,63
01444	4.10.2016	06.10.16	26	3,67	0,0440	2,34			158	29,85	58,51	3627	22,46	0,81	7,18
01469	7.10.2016	11.10.16	21	3,50	0,0300	2,54		1	149	29,32	56,84	3532	22,73	0,77	7,29
01485	11.10.2016	13.10.16	51	3,61	0,0430	2,88	0,28		146	29,84	56,74	3862	21,72	0,79	6,88
01509	14.10.2016	18.10.16	26	3,56	0,0360	3,28		1	166	31,92	58,92	3648	22,88	0,80	6,91
01530	18.10.2016	20.10.16	26	3,49	0,0530	2,09			157	29,91	58,02	3580	23,86	0,82	7,55
01554	19.10.2016	25.10.16	26	3,57	0,0260	2,47		1	187	28,59	57,78	3487	24,91	0,73	7,26
01571	25.10.2016	27.10.16	23	3,51	0,0350	2,70	0,24		200	33,51	61,53	3751	21,35	0,75	7,18
Počet				8	8	8	2	4	8	8	8	8	8	8	8
Minimum				3,49	0,0260	2,09	0,24	1	146	28,59	56,74	3487	21,35	0,73	6,63
Maximum				3,67	0,0530	3,28	0,28	1	200	33,51	61,53	3862	24,91	0,82	7,55
Střední hodnota				3,57	0,0390	2,63	0,26	1,00	169	30,28	58,25	3648	22,97	0,78	7,11
Standardní odchylka				0,06	0,0083	0,34	0,02	0,00	19,00	1,52	1,42	114	1,11	0,03	0,27



Cement Hranice,  
 akciová společnost  
 Útvar kontroly a řízení kvality  
 Ing. Jitka Janota

## MasterGlenium SKY 980

Univerzální superplastifikační přísada na bázi polykarboxyláteteru, určená pro výrobu transportbetonu s prodlouženou zpracovatelností. Přísada odpovídá normě pro přísady ČSN EN 934-2.

### POUŽITÍ

MasterGlenium SKY 980 vykazuje dobrý plastifikační účinek a zároveň výborné zachování konzistence, zejména v betonech klasifikační třídy podle konzistence F 3 až F 6 dle ČSN EN 208.

Přísada MasterGlenium SKY 980 je na základě svých mnohotvárných vlastností zvláště vhodná pro výrobu transportbetonu s prodlouženou zpracovatelností.

### PŮSOBENÍ

MasterGlenium SKY 980 vykazuje ve srovnání s běžně používanými superplastifikačními přísadami výrazně lepší rozpíjení cementových částic. Vzniká velmi dobře zpracovatelný čerstvý beton s vysokou stabilitou. MasterGlenium SKY 980 způsobuje na základě své molekulární struktury velmi dobře zvlhčení, s dlouhodobým účinkem.

Zároven beton vykazuje zvýšenou robustnost proti kolísání teploty, kvalitě vstupních materiálů a obsahu vody. Beton obsahující MasterGlenium SKY 980 má podobný průběh konzistence v širokém rozsahu dávkování.

### TECHNICKÉ ÚDAJE

skupení	kapalina
barva	žlutá
obj. hmotnost (př. +20 °C)	1,05 ± 0,02 g/cm <sup>3</sup>
hodnota pH (př. +20 °C)	5,7 ± 1,0 po výrobě
obsah chlórů max.	0,1 % hm.

### DÁVKOVÁNÍ

Doporučené dávkování: 0,2 % až 3,0 % hmotnosti cementu. Před použitím je nutné provést průzkum zkouškou dle ČSN EN 206 pro stanovení optimálního poměru a dávkování.

### ZPRACOVÁNÍ

Do betonové směsi se doporučuje přidat přísadu společně s poslední trebinou záměsové vody. Je nutné dodržet dostatečnou dobu pro zamíchání přísady do směsi k získání potřebných vlastností.

### BALENÍ

- sud 200 kg
- kontejner 1000 kg

### SKLADOVÁNÍ

Chraňte před mrazem a znečištěním.

Při obvyklém skladování (uzavřená nádoba, +20 °C) je výrobek použitelný minimálně po dobu 1 roku.

Při skladování je třeba dodržovat předpisy pro zařízení, které nakládají s látkami, které mohou ohrozit kvalitu vodních zdrojů.

### BEZPEČNOSTNÍ POKYNY

Dívejte se na bezpečnostní pokyny uvedené v bezpečnostním listě.

### TECHNICKÁ PODPORA

Prisadný spolupracovník firmy BASF Stavební hmoty Česká republika s.r.o. je Vám s dalšími informacemi a technickou podporou rád k dispozici.

## MasterGlenium SKY 980

Univerzální superplastifikační přísada na bázi polykarboxyláteteru, určená pro výrobu transportbetonu s prodlouženou zpracovatelností. Přísada odpovídá normě pro přísady ČSN EN 934-2.

Zde najdete informace o této přísadě, přehledu o této přísadě a její aplikaci nejen na běžné betonové konstrukce, ale i na budování a terény. Získáte mnoho dalších užitečných informací. Pro další informace prosím kontaktujte příslušného místního zástupce.

BASF Stavební hmoty Česká republika s.r.o.	Zákaznický servis (přijímá objednávky)	Centra BASF SE
Právní území: 270371, 103 00 Praha 8	Adresa: Česká republika s.r.o. - oddělení zákaznického servisu	Adresa: Česká republika s.r.o. - oddělení zákaznického servisu
Hlavní sídlo: 270371, 103 00 Praha 8	Telefon: +420 226 212 690	Telefon: +420 226 212 690
Telefon: +420 226 212 690	Fax: +420 226 212 691	Fax: +420 226 212 691
Fax: +420 226 212 691	E-mail: objednavky.cz@basf.com	E-mail: objednavky.cz@basf.com
E-mail: info.cz@basf.com	www.master-builders-solutions.basf.cz	www.ugz.basf.com
www.master-builders-solutions.basf.cz		

Sídlo společnosti: K Milovské 1244, 527 01 Chudčovice  
Telefon: +420 469 907 111  
Fax: +420 469 907 112

Prisadný servis je určen pro všechny stavební a průmyslové aplikace. Zpracovává je pouze příslušný oddělení. Pro další informace prosím kontaktujte příslušného místního zástupce. Zpracovává je pouze příslušný oddělení. Pro další informace prosím kontaktujte příslušného místního zástupce. Zpracovává je pouze příslušný oddělení. Pro další informace prosím kontaktujte příslušného místního zástupce.



## MasterAir 214

Provzdušňovací přísada do betonu.

## MasterAir 214

Provzdušňovací přísada do betonu.

### POPIS VÝROBKU

- MasterAir 214 je provzdušňovací bezchlorná přísada, s její pomocí je možno vytvořit v betonu systém ultra-stabilních vzduchových kuliček poru s optimálním průměrem, vysokým měrným povrchem a nízkým spací faktorem.
- Je vhodný pro výrobu SCC.

### OBLASTI POUŽITÍ

- Provzdušňující přísady lze s výhodou použít do betonu, ve kterých lze dohlédnout užití potřeby obsah vzduchu, např.:
- beton s nízkou hodnotou sednutí,
- beton s obsahem křivého popílku,
- beton s obsahem velkého množství jemných podílů,
- beton s cementem s vyšším obsahem alkálií,
- betony s prodlouženou dobou míchání

### VLASTNOSTI SYSTÉMU

- Výsledná stabilita vzduchových bublinek.
- Vytvoření systému vzduchových dutin v tvrdém betonu.
- Zvýšená mrazuvzdornost, odolnost vůči CH-RL.
- Snížení propustnosti, tzn. zvýšení vodotěsnosti,
- Snížení segregace a křivčení betonu,
- Zlepšení plasticity a zpracovatelnosti betonu.

### TECHNICKÉ ÚDAJE

Skupenství	Kapalné
Barva	bílá
hustota při +20 °C	1,00 ± 0,02 kg/l po výrobě
obsah chloridů	< 0,1 % hm.
obsah alkálií	< 1,0 % hm.

### DÁVKOVÁNÍ

Účinné dávky obecně je 0,05–1,5 % z váhy cementu. Konkrétní dávkování je závislé na množství faktoru, např. požadované zpracovatelnosti, druhu cementu, použité technologii výroby atd.

Před použitím je nutné provést příkazní zkoušku dle nebo ČSN EN 206-1 a souvisejícím norem a předpisy.

### ZPRACOVÁNÍ

MasterAir 214 se přidá před přidáním dalších přísad do betonu. MasterAir 214 může být přidán se záměsrovou vodou.

V žádném případě se nesmí přidat na suché kamenivo. K dodání dobrého systému vzduchových porů je potřeba dočerstvého a konstantního času na promíchání směsi. Ne méně než 45 sekund po přidání MasterAir 214. Odstup před přidáním superplastifikátorů přísady doporučujeme minimálně 10 sekund.

Proto doporučujeme provádět pravidelnou kontrolu množství vzduchových porů. Při současnému použití přísady od jiného výrobce je nutné odtáhnout jejich vzájemnou snášenlivost.

### BALENÍ

- kanystr 20 kg
- sud 200 kg
- kontener 1000 kg

### SKLADOVÁNÍ

- V těsně uzavřených původních kontejnerech je doba skladování min. 12 měsíců.
- Teplota ve skladovacím prostoru nesmí klesnout pod +2 °C.
- Pokud dojde ke zmrazení materiálu, je nutné po rozmrazení celý objem důkladně promíchat.
- Nepoužívejte na rozmíchání stlačený vzduch.

### BEZPEČNOSTNÍ PŘEDPISY

Díky těsně uzavřeným kontejnerům je bezpečnostní list.

### TECHNICKÁ PODPORA

Příslušný spolupracovník firmy BASF Slavnosti tmy České republiky s.r.o. je Vám s dalšími informacemi a technickou podporou rád k dispozici.

Zde poskytujeme informace jako průvodce. Představují také nejlepší znalosti a jsou základem nejen na laboratorních pracích, ale i na zkušenostech z terénu. Z důvodu neustálého rozvoje výrobků a postupů, tyto informace poskytujeme i bez záruky, nebo patřičné odpovědi. Pro další informace prosím kontaktujte příslušného místního zástupce.

#### BASF Slavnosti tmy, Česká republika s.r.o.

F: Václavské náměstí 2750/7, 190 00 Praha 9  
tel.: +420 488 607 160  
fax: +420 488 607 111  
e-mail: objednavky.cz@basf.com  
e-mail: info.cz@basf.com  
www.master-builders-solutions.basf.cz

#### BASF Slavnosti tmy, Česká republika s.r.o.

K Město: 1244, 237 01 Chrást  
tel.: +420 488 607 111  
fax: +420 488 607 112

Právnická společnost a součástí je společnost BASF Slavnosti tmy, Česká republika s.r.o. Zpracovává a uvádí na trh výrobky a služby, které jsou součástí systému Master Builders Solutions. Všechny výrobky a služby jsou vyráběny a dodávány v souladu s normami a předpisy. Pro další informace prosím kontaktujte příslušného místního zástupce.





Příloha č.5: Prohlášení o shodě mleté granulované vysokopecní strusky



**Prohlášení dodavatele o shodě (v souladu s ISO/EC 17050-1)**

Supplier's declaration of conformity (in accordance with ISO/EC 17050-1)

- 1) Číslo / No: H 04 / 2011 KŠ
- 2) Vydavatel prohlášení / Issuer's name: KOTOUC ŠTRAMBERK, spol. s r. o.; IČ: 47972165  
Adresa/ Issuer's address: KOTOUC ŠTRAMBERK, spol. s r. o., Štramberk 500, 742 66 Štramberk
- 3) Předmět prohlášení / Object of the declaration:  
**Mletá granulovaná vysokopecní struska ve shodě s ČSN EN 15167-1; upřesnění úrovně jakosti dle tabulky ZA.1 a další obecné použití pro SMŠ 380 dle PN SMŠ 72 20 90**

Určený pro:

1. Oblast dle ČSN EN 15167-1 jako příměs typu II do výrobků z betonu, včetně betonu vyráběného na staveništi nebo prefabrikovaných betonových dílců podle EN 206-1. Mletá granulovaná vysokopecní struska vyhovující této normě může být také použita do malt a injektážních malt.


2. Mimo oblast ČSN EN 15167-1 k použití jako hlavní složka a složky pro výrobu cementů CEM dle ČSN EN 197 – 1; ČSN 72 2103; ČSN EN 197 – 4; ČSN EN 14216, uživatel musí postupovat v souladu s platnou legislativou (ČSN EN 197 – 1, ČSN EN 197 – 2, průkazní zkoušky u betonu, trvanlivost, atd.).



SMŠ lze jako materiál s jinými pojivy (cement, vápno) použít pro stabilizaci silničního podkladu nebo pro konstrukční vrstvy vozovek a pro zpevněné násypy na základě zkoušek. Odběratel musí postupovat v souladu s platnými předpisy (ČSN 73 6133 atd.). Odkaz na ČSN 73 6124-1, ČSN EN 14227-2, ČSN EN 14227-1.

- 4) Výše popsany předmět prohlášení je ve shodě s požadavky následujících dokumentů:  
The object of the declaration described above is in conformity with the requirements of the following documents:  
ČSN EN 15167-1 Mletá granulovaná vysokopecní struska pro použití v betonu,  
PN SMŠ 72 20 90 Mletá granulovaná vysokopecní struska upřesnění jakosti dle ZA.1  
Podle § 13 zákona 22/1997 Sb. ve znění pozdějších předpisů, § 5 odst.1 písm. e)  
NV č. 190 /2002 Sb. v platném znění splňuje základní požadavky a je za podmínek výše uvedeného použití bezpečný.
- 5) Doplňkové informace / Additional information:


1. Certifikát č. 1661/2009 ze dne 12. 6. 2009 shoda systému managementu jakosti s normou ČSN EN ISO 9001:2009, vydaný Technickým a zkušebním ústavem stavebním Praha, s. p., certifikační orgán č. 3001, Prosecká 811/76a, 190 00 Praha 9
2. Certifikát č. 1020 – CPD – 070037230 ze dne 14. 5. 2009 pro výrobek – mletá granulovaná vysokopecní struska pro použití do betonu, malty a injektážní malty dle EN 15167 – 1 vydaný Technickým a zkušebním ústavem stavebním Praha, s.p., notifikovaná osoba 1020, Prosecká 811/76a, 190 00 Praha 9

Ve Štramberku dne 13. 6. 2011  
Zpracoval: Ing. Jiří Holub

  
Ing. Ladislav Vik  
ředitel společnosti

 			
<b>1020</b>			
<b>KOTOUČ ŠTRAMBERK, spol. s r.o. Štramberk 500, 742 66 Štramberk; IČ: 47972165</b>			
<b>09</b>			
<b>1020 - CPD – 070037230 ES certifikát shody</b>			
<b>ČSN EN 15167-1</b>			
Mletá granulovaná vysokopecní struska pro použití do betonu, malty a injektážní malty <b>Jakostní třída SMŠ 380 upřesněna dle PN 72 20 90</b> <b>s deklarovanými hodnotami dle SMŠ 380</b>			
Základní charakteristiky (vlastnosti) Deklarované charakteristiky	odkaz ČSN EN 15167-1 / PN SMŠ 72 20 90	Základní požadavek ČSN EN 15167-1	Mletá granulovaná vysokopecní struska zpřesněná jakostní třídou dle PN 72 20 90 pro <b>SMŠ 380</b>
Pevnost v tlaku po 7 dnech (Index účinnosti)	5.3.2.3 / PN 4.2	≥ 45 %	≥ 50 %
Pevnost v tlaku po 28 dnech (Index účinnosti)	5.3.2.3 / PN 4.2	≥ 70 %	≥ 80 %
Počátek tuhnutí	5.3.2.2 / PN 4.3	$t < t_{\text{cementu}} \times 2$	$t < t_{\text{cementu}} \times 2$
Jemnost	5.3.1 / PN 4.1	≥ 275 m <sup>2</sup> /kg	≥ 380 m <sup>2</sup> /kg
Obsah oxidu hořečnatého	5.2 / PN 3	≤ 18 %	4 - 15 %
Obsah sulfidů	5.2 / PN 3	≤ 2,0 %	≤ 1,0 %
Obsah síranů	5.2 / PN 3	≤ 2,5 %	≤ 1,5 %
Ztráta žiháním	5.2 / PN 3	≤ 3,0 %	≤ 2,0 %
Obsah chloridů	5.2 / PN 3	≤ 0,10 %	≤ 0,10 %
Obsah vlhkosti	PN 3	≤ 1,0 %	≤ 0,5 %
SiO <sub>2</sub>	PN 3	neuvedeno	28 - 45 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	PN 3	neuvedeno	4 - 12 %
CaO	PN 3	neuvedeno	26 - 45 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	PN 3	neuvedeno	< 1,5
Na <sub>2</sub> O ekvivalent $Na_2O_{\text{ekv.}} = (Na_2O + 0,658 K_2O)$	PN 3	neuvedeno	≤ 0,9 % (průměr 0,7 %)
Zbytek na síť 0,045 mm	PN 4.1	neuvedeno	≤ 6 %
Trvanlivost	5.4.1	(NPD) jiné normy	
Uvolňování nebezpečných látek a radioaktivní záření	5.4.2	vyhláška 499/2005 Sb. ze dne 6. 12. 2005 v pl. znění	

Číslo / No:  
H 04/2011 KŠ

  
Ing. Ladislav Vik  
ředitel společnosti





## PROHLÁŠENÍ O VLASTNOSTECH

č. 1129/2016

Výrobek:	Popílek do betonu EN 450-1:2012
Typové označení:	Popílek do betonu z černého uhlí
Zamýšlené použití:	Popílek pro výrobu betonu
Výrobce:	Elektrárna Dětmorovice, a. s. 735 71 Dětmorovice, IČ: 29452279, DIČ: CZ29452279
Výrobna:	Elektrárna Dětmorovice, 735 71 Dětmorovice
Systém posuzování a ověřování stálosti vlastností:	1+
Oznámený subjekt:	TZUS Praha, s. p., Prosecká 811/76a, Praha 9, OS 1020 vydal Osvědčení o stálosti vlastností č. 1020 – CPR – 040 027007

Vlastnosti uvedené v prohlášení:

Základní charakteristiky:	Vlastnost:	Harmonizované technické specifikace:
Index účinnosti po 28 dnech:	$\geq 75 \%$	ČSN EN 450-1, ČSN EN 196-1
Index účinnosti po 90 dnech:	$\geq 85 \%$	ČSN EN 450-1, ČSN EN 196-1
Objemová stálost:	$\leq 10 \text{ mm}$	ČSN EN 450-1, ČSN EN 196-3
Ztráta žíháním:	kategorie A	ČSN EN 450-1, ČSN EN 196-2
Měrná hmotnost:	2000 – 2400 kg.m <sup>-3</sup>	ČSN EN 196-6
Jemnost:	kategorie N	ČSN EN 451-2
Obsah síranů:	$\leq 3 \%$	ČSN EN 196-2
Obsah CaO aktivního:	$\leq 10 \%$	ČSN EN 196-2, ČSN EN 197-1
Obsah CaO volného:	$\leq 2,5 \%$	ČSN EN 451-1
Obsah chloridů:	$\leq 0,1 \%$	ČSN EN 196-2
Hmotnostní aktivita Ra <sup>226</sup> :	$\leq 300 \text{ Bq.kg}^{-1}$	Doporučení SÚJB 2009
Index hmotnostní aktivity:	$\leq 2$	Doporučení SÚJB 2009

Vlastnosti výrobku jsou ve shodě s vlastnostmi uvedenými v tabulce.

Toto prohlášení o vlastnostech se vydává na výhradní odpovědnost výrobce.

Jménem výrobce:

Ing. Vlastimír Kontrík, generální ředitel

Dětmorovice, dne: 1. 1. 2016

Podpis:

.....

Elektrárna Dětmorovice, a. s.


Construction

Technický list  
Datum vydání 03/2012  
Identifikační č.:  
Verze č. 01  
SikaFume® Fueller CZ

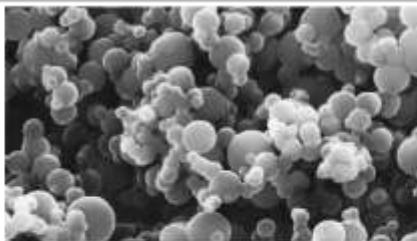
## SikaFume® Füller CZ

Prášková příměs do betonů a malt

<b>Popis výrobku</b>	SikaFume® Füller CZ je příměs do betonu v práškové formě, založená na technologii SilicaFume pro výrobu betonů nejvyšších kvalit.
<b>Použití</b>	<p>SikaFume® Füller CZ je jemnozrná minerální příměs do betonů a malt, která vzniká ve formě odprachu při výrobě ferosilicia.</p> <p>SikaFume® Füller CZ obsahuje vysoké množství amorfního oxidu křemičitého (cca 96 %) a vykazuje pucolánovou aktivitu.</p> <p>SikaFume® Füller CZ zlepšuje soudržnost cementového tmelu se zrnny kameniva, způsobuje dodatečný nárůst pevnosti a snížení pórovitosti betonů a malt.</p>
<b>Výhody</b>	<p>SikaFume® Füller CZ:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ zvyšuje počáteční pevnosti, mechanické a mechanické odolnosti</li> <li>■ zvyšuje mrazuvzdornost</li> <li>■ snižuje náchylnost k odlučování vody a rozměšování,</li> <li>■ zvýšená odolnost vůči alkalicko-křemičité reakci</li> <li>■ zvyšuje hutnost betonu</li> <li>■ zlepšuje čerpatelnost betonů</li> </ul>
<b>Zkušební zprávy</b>	Odpovídá požadavkům EN 13263-1:2005
<b>Údaje o výrobku</b>	
<b>Barva</b>	Šedý prášek.
<b>Balení</b>	<p>20 ± 0,5 kg papírový obal big bag na paletě volně ložený v cisterně.</p> <p>Další možnosti na vyžádání.</p>
<b>Podmínky skladování / Trvanlivost</b>	12 měsíců pouze v originálních, neotevřených, nepoškozených obalech od data výroby. Chraňte před přímým slunečním zářením a mrazem. Skladujte za teploty mezi +3 °C a +30 °C.
<b>Technické údaje</b>	
<b>Chemická báze</b>	Latentně-reaktivní účinné látky.
<b>Sypná hmotnost</b>	Volně ložený: ~ 200 kg/m <sup>3</sup>
<b>Objemová hmotnost</b>	Papírové obaly: 330 – 360 kg/m <sup>3</sup>
<b>Měrný povrch</b>	18 – 22 m <sup>2</sup> /kg (měřeno metodou BET)
<b>Hodnota pH</b>	7,5 ± 0,5
<b>Brightness-Factor L*</b>	54 - 65



1
SikaFume® Fueller CZ
1/3

Zrnitost	Primární částice: ~ 0,1 – 0,3 µm  Sekundární částice: > 1 µm    30 % > 10 µm    5 %  Hrubá frakce: > 45 µm    ~ 1,5 %	
Ztráta žháním	< 1023 K (+750 °C)	
	1,2 %	Max. 1,8 %
Vlhkost	0,05 % (max. 0,9 %) (po vysušení při 383 K, +110 °C)	
Chemická analýza		
	sloučenina	množství
	SiO <sub>2</sub>	96,0 ± 1,5 %
	SiC	0,6 % (max. 0,9 %)
	MgO	0,4 % (max. 0,6 %)
	So <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,35 % (max. 0,5 %)
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,2 % (max. 0,5 %)
	CaO	0,25 % (max. 0,35 %)
	Na <sub>2</sub> O	0,1 % (max. 0,2 %)
	K <sub>2</sub> O	1,2 % (max. 1,8 %)
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,05 % (max. 0,15 %)
	C	0,6 % (max. 1,4 %)
Difrakční rentgenová analýza	amorfní	
		
	Zvětšeno 30 000 krát.	
Informace o systému		
Aplikační podrobnosti		
Dávkování	5 – 15 % na hmotnost cementu.	
Aplikační podmínky / Omezení		
Kompatibilita	- kompatibilita s ostatními přísadami Sika® na vyžádání - před použitím vždy proveďte průkazní zkoušky	



## Platnost hodnot

Hodnoty a data uvedená v tomto technickém listu jsou založena na výsledcích laboratorních testů. Tyto hodnoty se mohou při aplikaci v praxi lišit, což je mimo naší kontrolu.

Detailní informace o zdravotní závadnosti a bezpečnosti práce jsou spolu s bezpečnostními informacemi (např. fyzikálními, toxikologickými a ekologickými daty) uvedeny v bezpečnostním listu.

Aktuální technické a bezpečnostní listy, Prohlášení o shodě, Certifikáty najdete na internetové adrese [www.sika.cz](http://www.sika.cz).

## Bezpečnostní předpisy

Ochranná opatření

- Při zpracování je nutné dodržovat bezpečnostní pokyny, platné předpisy příslušných úřadů o ochraně zdraví při práci.
- Při aplikaci používejte ochranný oděv, brýle a rukavice.
- Podrobnější údaje týkající se hygieny a bezpečnosti práce, ochrany životního prostředí jsou uvedeny v Bezpečnostním listu.
- Odstraňování odpadu - Odpad dle zákona č. 185/2001 Sb. o odpadech.
- Odpad odvézt na skládku stavebního odpadu nebo předat odborné firmě k likvidaci. Fólie je možné recyklovat.

## Místní omezení

V závislosti na specifických místních omezeních se mohou výsledné vlastnosti tohoto výrobku v různých zemích lišit. Vždy se řiďte informacemi uvedenými v platném Technickém listu.

## Právní dodatek

Uvedené informace, zvláště rady pro zpracování a použití našich výrobků, jsou založeny na našich znalostech z oblasti vývoje chemických produktů a dlouholetých zkušenostech s aplikacemi v praxi při standardních podmínkách a řádném skladování a používání. Vzhledem k rozdílným podmínkám při zpracování a dalším vnějším vlivům, k četnosti výrobků, různému charakteru a úpravě podkladů, nemusí být postup na základě uvedených informací, ani jiných psaných či ústních doporučení, vždy zárukou uspokojivého pracovního výsledku. Veškerá doporučení firmy Sika CZ, s.r.o. jsou nezávazná. Aplikátor musí prokázat, že předal písemně včas a úplné informace, které jsou nezbytné k řádnému a úspěšnému zaručujícímu posouzení firmou Sika. Aplikátor musí přezkoušet výrobky, zda jsou vhodné pro plánovaný účel aplikace. Především musí být zohledněna majetková práva třetí strany. Všechny námi přijaté objednávky podléhají našim aktuálním „Všeobecným obchodním a dodacím podmínkám“. Ujistěte se prosím vždy, že postupujete podle nejnovějšího vydání technického listu výrobku. Ten je spolu s dalšími informacemi k dispozici na našem technickém oddělení nebo na [www.sika.cz](http://www.sika.cz).

Sika CZ, s.r.o.  
Bystřická 1132/36,  
CZ 624 00 Brno

tel: +420 546 422 464  
fax: +420 546 422 400  
e-mail: [sika@cz.sika.com](mailto:sika@cz.sika.com)  
<http://www.sika.cz>





# Příloha č.8: Protokoly o zkouškách kameniva Mankovice



BETO TECH, s.r.o., Beroun 660, 268 01 Beroun, tel. fax: +420311544780

Zkušební laborator Bmo, pracoviště Gajdošova 37, 615 00 Bno

Zkušební laborator číslo 1195.3 akreditovaná ČIA, podle ČSN EN ISO/IEC 17025:2005

Ověřeno: 01/08/2010 / 2.1.2010

Číslo ověření: 01/08/2010 / 2.1.2010

Provozovna: Mankovice

Frakce: 0/4

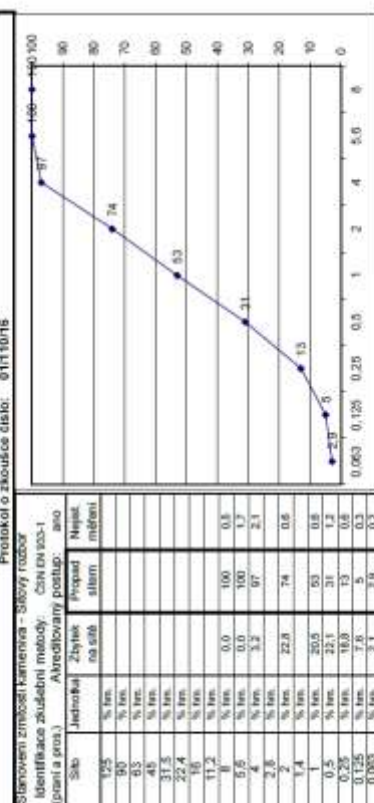
Ukol zkušeb: KR

Vzorek číslo: 01/11/16

Datum odběru: 20.1.16

Datum převzetí: 20.1.16

Datum zkoušky: 21.27.1.16



Vlastnosti kameniva		Hodnoty		Normy	
Jednotka	Hodnota	Norma	Postup	Norma	Postup
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN 933-1					
<b>Identifikace zkušební metody</b>					
ČSN EN					



BETO TECH, s.r.o. Beroun 660, 266 01 Beroun, tel.: +420311644780

Zkušební laboratoř Břim, pracovní síla: 37, 615 00 Břim

Zkušební laboratoř číslo 1195.3 akreditovaná ČIA, podle ČSN EN ISO/IEC 17025:2005

Ověřeno: 01/08/2010 / 2.1.2010

Objednatel: Českomoravský beton a.s., Město 355

Objednávka: 01/08/2010 / 2.1.2010

Provozovna: Město

Frakce: 8/16

Účel zkoušky: KR

Strana: 1/1

Podle specifikace: 0

Výška: 1/1

Datum odevzdání: 20.1.16

Datum zkoušky: 21.02.16

Vzorek číslo: 01/11/2/16

Protokol o zkoušce číslo: 01/11/2/16

Stanovení zmrzlé kamenné - silový rozbor

Identifikace zkušební metody: ČSN EN 933-1

(přijetí a pos.)

Akreditovaný postup: ano

Sila

Jednotka: Zbytek na síle

Prostředí: 0

Největší měření: 0

125 % hmotnosti

90 % hmotnosti

63 % hmotnosti

45 % hmotnosti

31,5 % hmotnosti

22,4 % hmotnosti

16 % hmotnosti

11,2 % hmotnosti

8 % hmotnosti

5,6 % hmotnosti

4 % hmotnosti

2,8 % hmotnosti

1,6 % hmotnosti

0,8 % hmotnosti

0,25 % hmotnosti

0,063 % hmotnosti

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

BETO TECH, s.r.o. Beroun 660, 266 01 Beroun, tel.: +420311644780

Zkušební laboratoř Břim, pracovní síla: 37, 615 00 Břim

Zkušební laboratoř číslo 1195.3 akreditovaná ČIA, podle ČSN EN ISO/IEC 17025:2005

Ověřeno: 01/08/2010 / 2.1.2010

Objednatel: Českomoravský beton a.s., Město 355

Objednávka: 01/08/2010 / 2.1.2010

Provozovna: Město

Frakce: 8/16

Účel zkoušky: KR

Strana: 1/1

Podle specifikace: 0

Výška: 1/1

Datum odevzdání: 20.1.16

Datum zkoušky: 21.02.16

Vzorek číslo: 01/11/2/16

Protokol o zkoušce číslo: 01/11/2/16

Stanovení zmrzlé kamenné - silový rozbor

Identifikace zkušební metody: ČSN EN 933-1

(přijetí a pos.)

Akreditovaný postup: ano

Sila

Jednotka: Zbytek na síle

Prostředí: 0

Největší měření: 0

125 % hmotnosti

90 % hmotnosti

63 % hmotnosti

45 % hmotnosti

31,5 % hmotnosti

22,4 % hmotnosti

16 % hmotnosti

11,2 % hmotnosti

8 % hmotnosti

5,6 % hmotnosti

4 % hmotnosti

2,8 % hmotnosti

1,6 % hmotnosti

0,8 % hmotnosti

0,25 % hmotnosti

0,063 % hmotnosti

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

BETO TECH, s.r.o. Beroun 660, 266 01 Beroun, tel.: +420311644780

Zkušební laboratoř Břim, pracovní síla: 37, 615 00 Břim

Zkušební laboratoř číslo 1195.3 akreditovaná ČIA, podle ČSN EN ISO/IEC 17025:2005

Ověřeno: 01/08/2010 / 2.1.2010

Objednatel: Českomoravský beton a.s., Město 355

Objednávka: 01/08/2010 / 2.1.2010

Provozovna: Město

Frakce: 11/22

Účel zkoušky: KR

Strana: 1/1

Podle specifikace: 0

Výška: 1/1

Datum odevzdání: 20.1.16

Datum zkoušky: 21.02.16

Vzorek číslo: 01/11/2/16

Protokol o zkoušce číslo: 01/11/2/16

Stanovení zmrzlé kamenné - silový rozbor

Identifikace zkušební metody: ČSN EN 933-1

(přijetí a pos.)

Akreditovaný postup: ano

Sila

Jednotka: Zbytek na síle

Prostředí: 0

Největší měření: 0

125 % hmotnosti

90 % hmotnosti

63 % hmotnosti

45 % hmotnosti

31,5 % hmotnosti

22,4 % hmotnosti

16 % hmotnosti

11,2 % hmotnosti

8 % hmotnosti

5,6 % hmotnosti

4 % hmotnosti

2,8 % hmotnosti

1,6 % hmotnosti

0,8 % hmotnosti

0,25 % hmotnosti

0,063 % hmotnosti

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

0,1

BETO TECH, s.r.o. Beroun 660, 266 01 Beroun, tel.: +420311644780

Zkušební laboratoř Břim, pracovní síla: 37, 615 00 Břim

Zkušební laboratoř číslo 1195.3 akreditovaná ČIA, podle ČSN EN ISO/IEC 17025:2005

Ověřeno: 01/08/2010 / 2.1.2010

Objednatel: Českomoravský beton a.s., Město 355

Objednávka: 01/08/2010 / 2.1.2010

Provozovna: Město

Frakce: 11/22

Účel zkoušky: KR

Strana: 1/1

Podle specifikace: 0

Výška: 1/1

Datum odevzdání: 20.1.16

Datum zkoušky: 21.02.16

Vzorek číslo: 01/11/2/16

Protokol o zkoušce číslo: 01/11/2/16

Stanovení zmrzlé kamenné - silový rozbor

Identifikace zkušební metody: ČSN EN 933-1

(přijetí a pos.)

Akreditovaný postup: ano

Sila

Jednotka: Zbytek na síle

Prostředí: 0

Největší měření: 0

125 % hmotnosti

90 % hmotnosti

63 % hmotnosti

45 % hmotnosti

31,5 % hmotnosti

22,4 % hmotnosti

16 % hmotnosti

11,2 % hmotnosti

8 % hmotnosti

5,6 % hmotnosti

4 % hmotnosti

2,8 % hmotnosti

1,6 % hmotnosti

0,8 % hmotnosti

0,25 % hmotnosti

Protokol číslo: 13427  
Strana číslo: 2/2  
Výsledek číslo: 2  
Počet výsledků: 2

Stanovení alkalické rozpínavosti kamenné / Příloha č. 1 TP 137 - změna č. 1 a  
Příloha č. 2 TP 137 - změna č. 1

Údaje o kameňu		Údaje o cementu	
Zakázka číslo:	04/007/2010 / 2.1.2010	Norma číslo:	1
Číslo místa odběru:	1	Místo odběru:	Střední před línou
Provozovna:	Mělník	Datum odběru:	25.3.2014
Harmonizace:	Štěpánský	Harmonizace:	RNDr. Martin Netušil
Druh kamenné:	DTK	Odběr provedl:	RNDr. Václav Bláhovec
Způsob dobývání:	Těžba		
Poznámky:			

Údaje o cementu:		Údaje o cementu:	
Druh cementu:	CEM I 42,5 R	Zrůdk cementu:	Moklá
Číslo Na <sub>2</sub> O v cem. (%):	0,13	Číslo K <sub>2</sub> O v cem. (%):	0,78
		Číslo Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> v cem. (%):	0,64

Údaje o zkoušce		Údaje o zkoušce	
Datum zahájení zk.:	21.5.2014	Zkouška provedl:	Radomír Černý
Datum ukončení zk.:	4.6.2013	Číslo série:	10 - 0,47

Výsledek		Tramice												Průměrné produktivity	
Označení		T 1				T 2				T 3					
Početní délka (mm)		250				250				250					
Měřeno	Uchopené	Vzhled vzd.	Očištěn mikrosetu	Produktivita	Očištěn mikrosetu	Produktivita	Očištěn mikrosetu	Produktivita	Očištěn mikrosetu	Produktivita	Očištěn mikrosetu	Produktivita			
m	mm	-	-	l <sub>1</sub>	sk.	sk.	sk.	sk.	l <sub>2</sub>	sk.	sk.	sk.	l <sub>3</sub>	sk.	sk.
dl	dl	°C	°C	mm	mm	% sily	mm	% dl	mm	% dl	mm	% dl	mm	% dl	% dl
0	21,5	21	53	6,882	0,000	0,000	-4,782	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,213	0,000	0,000
2	23,5	21	52	6,881	0,019	0,008	-0,762	0,020	0,008	0,008	0,018	0,007	1,231	0,018	0,008
4	25,5	21	53	6,910	0,048	0,019	-0,743	0,041	0,016	1,257	0,044	0,018	1,257	0,044	0,018
6	27,5	21	53	6,930	0,068	0,027	-0,720	0,062	0,025	1,273	0,060	0,024	1,273	0,060	0,025
8	29,5	21	53	6,955	0,082	0,037	-0,684	0,088	0,035	1,284	0,081	0,032	1,284	0,081	0,035
10	31,5	21	53	6,972	0,111	0,044	-0,675	0,107	0,043	1,313	0,100	0,040	1,313	0,100	0,040
12	33,5	21	53	6,992	0,130	0,052	-0,662	0,130	0,052	1,335	0,122	0,049	1,335	0,122	0,049
14	35,5	21	53	7,015	0,153	0,061	-0,632	0,150	0,060	1,358	0,140	0,058	1,358	0,140	0,058